

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT  
WASHINGTON, D. C. 20523  
BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET

FOR AID USE ONLY

Batch 70

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY Urban development and housing	LN00-0000-0000
	B. SECONDARY Shelter construction	

2. TITLE AND SUBTITLE  
Maisons en terre

3. AUTHOR(S)  
(101) U.S. Dept. of Housing and Urban Development

4. DOCUMENT DATE 1962	5. NUMBER OF PAGES 82p.	6. ARC NUMBER ARC 691.4.D419
--------------------------	----------------------------	---------------------------------

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS  
AID/AFR/RTAC ; AID/TA/UD

8. SUPPLEMENTARY NOTES (Sponsoring Organization, Publishers, Availability)  
(In Collection: techniques am.,11)  
(In English and French. English,78p.: PN-AAE-813)

9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER PN-AAE-814	11. PRICE OF DOCUMENT
----------------------------------	-----------------------

12. DESCRIPTORS Earth construction Houses Structural design Structural members	13. PROJECT NUMBER
	14. CONTRACT NUMBER AID/AFR/RTAC
	15. TYPE OF DOCUMENT

TECHNIQUES AMÉRICAINES - 11

MAISONS  
EN  
TERRE

DEPARTMENT OF STATE  
AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT  
WASHINGTON 25 D.C.  
CENTRE RÉGIONAL D'ÉDITIONS TECHNIQUES  
(C.R.E.T.)

Traduction d'une brochure en langue anglaise intitulée  
EARTH FOR HOMES  
Mise au point et publiée par  
International Housing Activities Staff  
Office of the Administrator  
Housing and Home Finance Agency  
Washington 25, D. C.  
(Ideas and Methods Exchange N° 22)  
(Revised September 1956)

La présente édition en langue française a été préparée par

REGIONAL TECHNICAL AIDS CENTER  
AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT  
DEPARTMENT OF STATE  
WASHINGTON, D. C.

dénommé

Centre Régional d'Éditions Techniques (CRET)

de

l'Organisation Américaine pour le Développement International (A.I.D.)

Ce Centre a été chargé d'établir et d'éditer  
des traductions françaises de publications  
techniques dans le cadre du programme de  
coopération technique de l'A.I.D. dans les  
pays d'expression française.

Pour tous renseignements au sujet de ces publications,  
s'adresser à la

Mission Américaine de l'A.I.D.  
Ambassade des États-Unis d'Amérique  
(Capitale du pays d'où émane la demande)

## Collection : TECHNIQUES AMÉRICAINES

*(Liste des ouvrages parus)*

1. CRÉATION D'UN SERVICE DE VULGARISATION AGRICOLE  
*Building a Strong Extension Service*
2. LES FIBRES VÉGÉTALES ET LEUR UTILISATION  
*Vegetable Fibers and Their Uses*
3. COMMENT CRÉER UNE USINE  
*How to Start a New Factory or Shop*
4. LES TRANSMISSIONS DE FORCE MOTRICE DANS L'INDUSTRIE ARTISANALE  
*Power Transmissions for Cottage Industry*
5. LA MISE EN CONSERVE  
*Small Canning Facilities*
6. LES PETITES SCIERIES  
*A Small Saw-Mill Enterprise*
7. DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE - SÉLECTION I  
*Technical Digest Supplement Section IV : Economic Development*
8. ADMINISTRATION PUBLIQUE ET GESTION DES ENTREPRISES - LA CRÉATION D'ÉCOLES SPÉCIALISÉES  
*Education for Social Change*
9. UN FACTEUR DU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE - LA SÉLECTION DES INDUSTRIES  
*Manual of Industrial Development*
10. APPAREILS A KÉROSÈNE  
*Technical Digest Supplement N° 8 : Kerosene Devices*
11. MAISONS EN TERRE  
*Earth for Homes*
12. PETITE ENTREPRISE - LA MANUTENTION  
*Improving Materials Handling in Small Plants*
13. PETITE ENTREPRISE - LES RELATIONS HUMAINES  
*Human Relations in Small Industry*
14. PETITE ENTREPRISE - L'IMPLANTATION D'UNE USINE  
*Profitable Small Plant Layout*
15. PETITE ENTREPRISE - 150 QUESTIONS  
*150 Questions for a Prospective Manufacturer*
16. PETITE ENTREPRISE - LE LANCEMENT DES PRODUITS  
*New Product Introduction for Small Business Owners*
17. PETITE ENTREPRISE - L'ÉTUDE DES PRODUITS  
*Design is Your Business*
18. PETITE ENTREPRISE - LE RÔLE DU CONTREMAÎTRE  
*The Foreman in Small Industry*

19. **PETITE ENTREPRISE - LA COMPTABILITÉ INDUSTRIELLE**  
*Cost Accounting For Small Manufacturers*
20. **PETITE ENTREPRISE - LA GESTION DU PERSONNEL**  
*Personnel Management Guides for Small Business*
21. **PETITE ENTREPRISE - MANUEL DE GESTION**  
*A Handbook of Small Business*
22. **COMMENT ON OBTIENT LE CRÉDIT AGRICOLE AUX ÉTATS-UNIS**  
*Getting and Using Farm Credit*
23. **LE SYSTÈME DE CRÉDIT COOPÉRATIF AUX ÉTATS-UNIS**  
*The Cooperative Farm Credit System - Functions and Organisation*
24. **ACCROISSEMENT DE LA PRODUCTIVITÉ AGRICOLE AUX ÉTATS-UNIS**  
*Sources and Causes of Increased Farm Production in the United States*
25. **ÉTUDES A L'ÉTRANGER SOUS LES AUSPICES DE L'A.I.D.**  
*Participants in Technical Cooperation*
26. **VULGARISATION AGRICOLE - LES AIDES VISUELLES**  
*Using Visuals in Agricultural Extension Programs*
27. **VULGARISATION AGRICOLE - PRÉSENTATION DES RAPPORTS**  
*Extension Reports*
28. **VULGARISATION AGRICOLE - LA PLANIFICATION**  
*Extension Looks at Program Planning*

## PRÉFACE

C'est afin de fournir une aide technique aux spécialistes des questions de logement travaillant à l'étranger que l'International Housing Service of the Housing and Home Finance Agency a entrepris, en accord avec l'Agency for International Development (A.I.D.), de préparer et d'éditer des brochures traitant d'idées, de méthodes ou de techniques signalées par les chargés de mission à l'étranger. La présente brochure : « Maisons en terre » est la vingt-deuxième de cette « *Ideas and Method Exchange Series* ».

« Maisons en terre » est seulement une compilation résumée de renseignements. Cette brochure n'exprime donc pas les conclusions de notre service, malgré l'expérience, limitée du reste, qu'il a pu tirer de son travail de dépouillement et de synthèse.

R. HAMADY

*Assistant Administrator (Intern. Housing)  
Housing and Home Finance Agency.*

## **REMERCIEMENTS**

Cette étude de la collection « Idées et Méthodes » fut, à l'origine, préparée dans les bureaux de l'International Housing Service sous la direction de B. Douglas Stone, Assistant de l'Administrateur, par George A. Speer, conseiller de l'International Housing Construction. C'est une synthèse résumée de renseignements provenant de sources diverses, et surtout des textes énumérés dans la bibliographie.

Nous voulons remercier ici les auteurs des textes auxquels nous nous sommes référés, et les industriels qui ont bien voulu nous fournir des renseignements détaillés.

Les photographies et dessins de la présente brochure ont été aimablement communiqués par le Ministère du Logement et de la Reconstruction, Athènes (Grèce); The American Bitumuls and Asphalt Company, San Francisco (U.S.A.); The United States Department of Agriculture; The Agency for International Development; et the Housing and Home Finance Agency, Washington D.C.

## TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES ILLUSTRATIONS .....	XI
INTRODUCTION .....	1

### CHAPITRE PREMIER

#### PREMIERS USAGES DE LA TERRE

### CHAPITRE II

#### LES SOLS

Généralités .....	5
Tests simples .....	7

### CHAPITRE III

#### MÉTHODES DE CONSTRUCTION DES MURS DE TERRE

Généralités .....	10
Détermination de quelques propriétés du sol utilisé en construction ....	11
Compression .....	11
Résistance à la rupture (flexion) .....	12
Absorption .....	13
Erosion .....	13
Le « clayonnage-garnissage » .....	13
Le « bousillage » .....	14
L'adobe coulée ou le béton de boue .....	14
La brique d'adobe .....	15
Hourdage et cajon .....	22
Le pisé .....	22
Les blocs compactés à la machine .....	29

CHAPITRE IV  
STABILISATION DE LA TERRE PAR EMPLOI  
D'ADDITIONS

Généralités .....	34
Tests simples de résistance aux intempéries .....	36
Stabilisation de l'adobe .....	37
Stabilisation du pisé et des blocs compactés .....	41
Stabilisation des constructions en bousillage .....	44

CHAPITRE V  
PLANCHERS EN TERRE

Planchers en ciment-sol .....	45
Planchers au bitume .....	46
Autres agents stabilisants .....	48

CHAPITRE VI  
LES TOITS EN TERRE

Toits d'adobe ou de boue .....	49
Toits en briques de boue .....	50
Toit elliptique en pisé .....	50
Dôme expérimental sur une construction en bousillage stabilisé .....	50

CHAPITRE VII  
FINITION DES MURS

Introduction .....	52
Test de la pluie violente .....	53
Stucs au ciment ou à la chaux .....	53
Plâtre à la boue (Dagga) .....	55
Peintures de boue .....	56
Peintures murales .....	56
Finitions intérieures .....	57
Pouzzolane .....	58
Résultats d'expériences sur l'utilisation des peintures .....	58

CHAPITRE VIII  
LA MISE EN ŒUVRE DES MAISONS DE TERRE

Propriétés communes aux sols .....	59
Considérations de mise en œuvre .....	60
Pratiques générales de construction .....	60
Constructions dans les régions sujettes aux tremblements de terre ..	62
APPENDICE A : Glossaire .....	63
APPENDICE B : Bibliographie sur les constructions en terre .....	65

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : Machines simples permettant de réaliser sur place des tests de compression .....	12
FIGURE 2 : Construction du type clayonnage-garnissage, aux Indes.	14
FIGURE 3 : Résidence d'Amérique du Nord construite en briques d'adobe stabilisée .....	16
FIGURE 4 : Pose de briques d'adobe au cours de la construction d'une école rurale à Zoogowee (Libéria) .....	20
FIGURE 5 : Cette maison, construite à Téhéran par la mission américaine, a ses murs en briques d'adobe stabilisée recouverts de plâtre, et est couverte d'un toit en plaques de béton armé de 10 cm d'épaisseur .....	22
FIGURE 6 : En Iran, des ouvriers terminent les murs en pisé d'une maison, avant de monter la charpente du toit .....	23
FIGURE 7 : Coffrages pour mise en place du pisé .....	26
FIGURE 8 : A Formose, un bloc de terre compactée est retiré du moule .....	27
FIGURE 9 : Construction d'une maison à Formose mettant en jeu des blocs de terre compactés à la machine .....	30
FIGURE 10 : A Ho Hsiang, à Formose, on fabrique 700 blocs de ciment-sol par jour avec une machine manœuvrée à la main ..	42
FIGURE 11 : Placage d'un bloc de terre au moyen d'un ciment-sol résistant aux intempéries .....	43



## INTRODUCTION

C'est à cause de la guerre ou des préparatifs de guerre, à cause des grandes migrations, et pour beaucoup d'autres raisons, que la situation mondiale du logement s'est détériorée pendant les quarante dernières années. Le désir général d'améliorer les logis s'est cependant intensifié. Ce désir s'est même étendu à bien des régions où, jusqu'ici, les mauvaises conditions de logement étaient acceptées philosophiquement à la fois par ceux qui vivaient dans des taudis insalubres et par ceux qui essayaient, souvent sans succès, de développer l'activité économique de ces « mal logés ».

C'est à la fois pour des raisons politiques et économiques que l'on a commencé à s'intéresser sérieusement au sort des mal logés, qui constituent la grande majorité de la population mondiale. Trop souvent un examen rapide des données économiques a montré aux responsables que tout progrès effectif dans l'amélioration du logement était impossible dans le cadre des méthodes existantes. Des améliorations même légères se révèlent prohibitives, à cause, à la fois du coût des matériaux, et de celui de la main-d'œuvre. Il a donc souvent semblé que l'amélioration des logis devait être précédée d'un développement économique. Mais un développement économique, pour être pratique et logique, semble nécessiter d'abord une amélioration de la vigueur morale et physique, qui peut alors se traduire elle-même par un accroissement de la capacité de production et par une plus grande stabilité politique des majorités mal logées.

Au moment où la situation semblait la plus sombre, quelques rayons d'espoir surgirent çà et là. Une réflexion approfondie conduisit simultanément et presque spontanément certains spécialistes à combiner deux très vieux principes et à leur incorporer des techniques nouvelles. Cette combinaison permet dans bien des cas de réaliser une amélioration générale des logements n'utilisant que les ressources disponibles, et qui peut être immédiate. Ces principes auxquels nous faisons allusion sont, d'une part, l'utilisation de la terre comme matériau de construction, et d'autre part la méthode qui consiste à construire soi-même sa propre maison en étant seulement aidé techniquement. Les nouvelles techniques, ce sont celles qui résultent de toutes les recherches faites sur l'utilisation de la terre pour

la construction des routes, et qui permettent de faire actuellement de meilleures constructions de terre qu'il n'a été possible jusqu'ici.

L'introduction de la terre comme matériau de construction là où on ne l'utilisait pas autrefois, sa réintroduction et son amélioration là où on ne l'employait plus, ont conduit à un renouveau de la construction des demeures en terre. Citons par exemple son usage étendu en Australie où, dès 1933, on enregistrait 9 000 maisons à murs de terre; aux Indes, où 4 000 maisons permanentes pour personnes déplacées furent construites en 1947; dans le sud-ouest des Etats-Unis d'Amérique où l'adobe stabilisée est courante; en Corée et à Formose, enfin, où cet usage a été lancé lors des récents programmes d'urgence.

Ce renouveau a profité de l'élan communiqué par l'effort individuel bien dirigé. Leur temps, jusqu'ici inutilisé, et qui constitue leur plus grande ressource, les mal logés ont pu, grâce à un peu d'aide technique, quelques prêts et quelques fournitures de matériaux, le mettre à profit pour construire des abris bien supérieurs à ceux qu'ils eussent pu construire seuls. Et ceci, tout en n'utilisant que les ressources qui leur étaient disponibles.

Ainsi, très souvent, et dans les conditions les plus variées, ceux qui n'auraient jamais pu espérer se faire construire des logis, peuvent-ils maintenant les construire eux-mêmes. C'est à cause de ces faits que l'on a préparé la présente brochure : « Construction de maisons en terre ». Elle s'adresse à ceux qui désirent s'informer sur les utilisations de la terre et qui examineront peut-être leur application éventuelle aux conditions locales qui sont les leurs.

Cette brochure n'est pas d'un haut niveau technique. Elle se borne à quelques références à la très scientifique mécanique des sols, et essaye seulement de présenter quelques expériences et enseignements pratiques qui ont souvent confirmé des résultats obtenus d'une façon plus scientifique. Elle comprend un certain nombre de tests et de critères simples qui semblent traduire avec plus ou moins de précision les résultats des recherches faites en laboratoire. Enfin, elle ne s'intéresse qu'à la construction des maisons, et ne traite pas de l'usage des sols pour les sentiers, les chemins et les routes.

Un glossaire des termes utilisés dans la construction en terre est mis en Appendice A à l'intention de ceux qui n'ont eu, jusqu'ici, l'occasion ou le temps de s'informer sur ces questions.

Une bibliographie partielle est ajoutée en Appendice B à l'intention de ceux qui désireraient approfondir la question.

## CHAPITRE PREMIER

### PREMIERS USAGES DE LA TERRE

L'homme n'est sorti des cavernes que parce qu'il avait construit des outils lui permettant de se faire d'autres abris. Tout d'abord, il creusa probablement un trou dans le sol, et le recouvrit de branches et de peaux de bêtes, ou de mottes de terre. Plus tard il construisit sur le sol des armatures de branches, et il les colmata avec de la boue (c'est ce qu'on appelle parfois le « garnissage »). Pour construire des murs on s'est ensuite servi de pierres enfouies dans la boue, ou de mottes de terre.

Le progrès dans la construction des abris vint avec le « bousillage » grossier : pour construire des murs, on applique à la main des couches successives d'une boue assez épaisse. Plus tard, vinrent le pisé (un mélange de sol sablo-argileux et d'eau de consistance assez molle, que l'on comprime entre des coffrages rigides) et l'adobe (de la terre et de l'eau formant un mélange plastique auquel on ajoute des liants mécaniques tels que de la paille ou des brindilles, et que l'on met en œuvre en la versant dans des coffrages ou en la moulant en briques).

L'adobe, était connue très tôt en Egypte et en Syrie sous la forme de briques séchées au soleil. Les enfants d'Israël, du temps de Moïse, fabriquaient des briques pour les Egyptiens. A Chan-Chan au Pérou, il existe une structure compliquée, en terre, dont certains archéologues estiment qu'elle est d'un âge comparable à celui de la civilisation biblique exhumée en Mésopotamie. On pense que les premières maisons de Sialk, une oasis d'Iran, furent construites avec un « bousillage » grossier, plus de 4 000 ans av. J.-C. Les écrits de Pline témoignent que les tours de guet construites en pisé par Annibal étaient encore utilisées 250 ans après leur achèvement. Il paraît que de gigantesques pyramides bâties près de Sian Fu, ancienne capitale de la Chine, et dont on dit qu'elles ont plus de 6 000 ans, seraient construites de couches alternées de terre et de chaux.

On a évidemment continué à utiliser la terre depuis ces temps anciens. Il y a l'exemple des huttes rondes d'Afrique construites en adobe, ou par garnissage ; il y a les briques séchées au soleil du Moyen Orient, l'adobe méditerranéenne, l'adobe américaine, etc. Le palais des gouverneurs qui

est encore en place à Santa Fé dans le New Mexico, aux U.S.A., fut construit de briques d'adobe en 1609.

Des variantes furent de temps en temps ajoutées aux méthodes habituelles de construction en terre : par exemple : Tubali, Teroni, Hourdage, Tapia, Terracrete (voir le glossaire). Cependant la terre fut graduellement remplacée par l'emploi de matériaux plus durables dans les parties les plus développées du monde, et cela, à une échelle qui ne semble plus justifiée dans l'état actuel de nos connaissances. La raison était que la terre, bien qu'acceptable au point de vue résistance (dans certaines limites), était très peu satisfaisante du point de vue de la durabilité.

C'est ainsi que la terre, un des matériaux de construction les moins chers et qui est normalement à la portée des plus pauvres, a été fréquemment négligée, à cause de son entretien apparemment élevé et de son instabilité fondamentale en présence de l'eau. Et ceci, en dépit des exemples fournis par certaines constructions anciennes, qui montrent bien que ces facteurs défavorables ne sont pas toujours inévitables. Il fallait donc trouver ce qui rendait certains sols stables et certaines méthodes de construction utilisables.

C'est là que l'application des principes de la mécanique des sols, en particulier à la construction de meilleures routes, a permis de rendre les constructions en terre plus durables et a permis d'expliquer plus clairement la longévité de certains bâtiments anciens. En outre, et c'est plus important encore, on a trouvé que ces nouvelles techniques qui mettent l'accent sur un choix soigneux des sols, leur compactage, l'utilisation d'additions, etc., pour accroître la résistance à l'eau, au choc et à l'érosion, sont très compatibles avec les possibilités et les besoins des gens ayant un bas revenu.

La construction en terre bien comprise, conserve donc ses avantages de simplicité et de faible prix de revient. Elle est bien adaptée à la construction individuelle, puisqu'elle n'empêche pas de réaliser une bonne architecture, et qu'un homme aidé de ses amis ou de sa famille peut facilement la mener à bien pendant ses loisirs ou ses périodes d'inemploi. Evidemment, les gens ne travaillent peut-être pas alors d'une façon économique du point de vue de la production, et il est exact qu'ils ne font pas un travail bien « fini ». Mais ils réussissent à construire une maison confortable et bien conçue pour une dépense très réduite.

Avant de discuter avec quelques détails les différents procédés de construction en terre et l'emploi d'additions stabilisantes qui dépendent toujours finalement de la terre disponible, nous allons brièvement décrire les différentes variétés de sols et leurs propriétés.

## CHAPITRE II

### LES SOLS

#### Généralités

Dans la plupart des cas, le sol est un mélange de roches désagrégées, de composés organiques et de sels solubles.

Les sols latéritiques qui proviennent de la désagrégation de roches dans des climats chauds et humides ne se contractent et ne se dilatent pas beaucoup quand on les mouille. Leurs grandes qualités de stabilité semblent être en relation avec l'existence de composés ferriques et colloïdaux. Quand on les a fait sécher, ils n'absorbent pas facilement l'eau, et conservent pendant des années une grande cohésion, ce qui est une propriété fort intéressante du point de vue de la construction en terre.

Les sols désagrégés en climats tempérés sont souvent riches en composés siliceux, pauvres en fer et aluminium. Ils se dilatent et se contractent facilement, et leur cohésion interne est médiocre. Ils deviennent pâteux quand ils sont humides, et poussiéreux quand ils sont secs. Néanmoins, avec certaines précautions, on peut aussi les employer dans la construction en terre.

On classe en général les sols selon la taille des particules qui les composent. Bien qu'il existe une classification internationale des sols et qu'elle soit généralement acceptée en agriculture, on a plutôt adopté pour les constructions en terre un système mis au point par les ingénieurs. On distingue les sables grossiers et les graviers fins, le sable fin, les limons et l'argile. On se contente souvent d'appeler « sable » le sable et le gravier fin. Les limons et l'argile sont, dans la classification des ingénieurs, les parties du sol qui ont moins de 0,05 mm de diamètre. Néanmoins, dans bien des régions, on considère que les particules qui passent à travers un tamis N° 200 (norme américaine) (0,074 mm) constituent les limons et l'argile ; les particules retenues constituent le sable et le gravier. L'argile est constituée par les particules de moins de 0,005 mm. L'argile colloïdale, qui est très importante en mécanique des sols, est une argile très fine (moins de 0,002 mm).

En général, les sols contenant moins de 20 % d'argile sont désignés sous le nom de sable et gravier, sables glaiseux, glaises sableuses, et glaises, selon leur teneur en argile. Les sols contenant de 20 à 30 % d'argile s'appellent des glaises argileuses, et ceux qui contiennent plus de 30 % d'argile s'appellent des argiles.

Bien que la nature du sol disponible à l'endroit où l'on se propose de construire impose parfois la technique qui doit être employée (par exemple, le pisé, l'adobe, etc.), on peut souvent mélanger deux sols disponibles de façon à obtenir une texture de sol convenant parfaitement à telle ou telle méthode.

A cet égard, il est sans doute intéressant de signaler que, d'une façon courante, la terre que l'on trouve au sommet des collines ou sur les crêtes contient plutôt plus d'argile que celle des endroits plus bas qui, en revanche, contiennent davantage de sable. Si tel est le cas, on doit pouvoir trouver le meilleur sol quelque part à mi-pente. La teneur en argile des sols peut également varier en fonction de la profondeur. Cette variation n'est pas très marquée, ni constante.

Dans tous les cas, pour être couronnée de succès, la construction en terre doit être précédée d'une bonne connaissance des sols dont on dispose. Il convient de retenir à ce sujet quelques faits fondamentaux. Les argiles très fines de type colloïdal absorbent rapidement l'humidité et sont une source d'ennuis, car leur instabilité les amène à gauchir et à craquer. Le sable réduit les effets de contraction, mais son utilisation abusive empêche de réaliser une bonne cohésion (le taux à ne pas dépasser dépendant d'ailleurs de la méthode utilisée). Trop de limon fournit des murs qui se détériorent rapidement. L'argile est le liant qui doit réunir les particules minérales plus grossières pour en faire un mur solide.

Alors que la teneur en argile d'un sol peut être déterminée par des moyens mécaniques et qu'on peut même se contenter des tests rapides que nous décrirons plus loin, il n'en va pas de même pour la nature de l'argile que seule peut déterminer une analyse dépassant de beaucoup ce que l'on peut faire sur le terrain ou dans un laboratoire ordinaire de mécanique des sols. Aussi, dans les applications pratiques, n'examine-t-on pas le plus souvent des propriétés telles que la dureté ou l'angularité des particules les plus grossières, ou telles que l'analyse chimique des parties les plus fines. C'est d'ailleurs pourquoi les sols ne se comportent pas parfois comme ils « devraient » le faire. Des sols calcaires étroitement cimentés, par exemple, ne présentent pas les caractéristiques que permettraient de prévoir leur texture et leur type. Aussi, bien que les tests physiques qui servent à mesurer le comportement d'un sol soient d'une grande valeur quand il s'agit de choisir ceux susceptibles de bien se comporter, ils ne sont pas infaillibles et doivent être complétés par des tests empiriques sur les effets de l'usure et de l'érosion.

## MAISONS EN TERRE

De nombreuses publications comme l'ASTM Standards\* contiennent des descriptions détaillées d'expériences, permettent de choisir et de préparer des échantillons de sols, d'en faire l'analyse mécanique, de déterminer les matériaux plus fins que les mailles du tamis N° 200, de tester la limite de liquidité, la plasticité, la contraction, d'établir les relations entre l'humidité et la densité, et de déterminer la quantité optimale de bitume ou de ciment que l'on doit ajouter si on utilise ces produits comme agents stabilisants. Toutes ces expériences sont très précises, mais, malgré leur importance, nous ne pouvons que les citer dans une brochure comme celle-ci.

### Tests simples

Dans les recherches préliminaires, la connaissance de quelques tests simples prend une grande valeur pour le prospecteur. On peut, par exemple, juger grossièrement de la composition d'un sol par la vue et par le toucher. La texture, en effet, est déterminée par les proportions de gravier, sable, limons et argile. Les particules de sable sèches semblent dures quand on les frotte entre les doigts, alors que les limons et les particules fines adhèrent à la peau et ont un contact soyeux. Avec un peu d'habitude, on peut ainsi se rendre compte si la composition du sol mérite que l'on poursuive les recherches, ou si elle n'en vaut pas la peine (du moins si le sol doit être utilisé sans apports externes).

On peut donner un autre test simple permettant de juger de la quantité de sable et de gravier dans un sol : placer dans un pot un échantillon du sol, et le sécher au four pendant trois heures (on peut remplacer le plat par une cuvette). Pulvériser alors complètement le sol. Laisser les galets et les cailloux dans l'échantillon. Remplir une mesure d'un litre du sol sec obtenu, en ayant soin de le tasser : verser la mesure dans un récipient plat tel qu'une cuvette, et couvrir d'eau. Il est important que le récipient ne présente pas de traces de graisse. Remuer bien et verser lentement l'eau sale. Recommencer jusqu'à ce que tout le limon et l'argile se soient écoulés et que l'eau soit claire. Il reste alors dans le récipient du sable et du gravier qui peuvent d'ailleurs être très fins. Les faire sécher et mesurer leur volume avec une tasse de 1/4 de litre. Si on en mesure une pleine tasse, c'est qu'ils représentent 30 % en poids du sol. Si il y en a plus de trois tasses, le sol contient sans doute plus de 85 % de sable et de gravier et n'est sans doute pas utilisable, même pour faire du pisé ou pour être compacté dans une machine, à moins qu'on ne lui ajoute un autre sol.

La plasticité d'un sol croît avec sa teneur en argile, et des tests de laboratoire classiques permettent d'évaluer ce degré de plasticité. Pour

---

\* Publié par l'American Society for Testing Materials, 1916 Race Street, Philadelphia 3, Pennsylvania (U.S.A.).

la plupart des sols convenant à une utilisation sous forme de pisé, l'indice de plasticité déterminé par les tests ne dépasse pas 15.

On a utilisé dans l'Inde une méthode rapide qui a permis, après une période d'adaptation des opérateurs, de déterminer approximativement l'indice de plasticité d'un grand nombre de sols. L'appareil utilisé est un simple tube de 15 cm de long et de 3 cm de diamètre dont on obture une extrémité avec une capsule percée de deux ou trois trous de 3 mm de diamètre. Un piston muni d'un court manche est étroitement ajusté dans l'autre extrémité. Un échantillon placé dans le cylindre, et comprimé par le piston, subit une extrusion au travers des trous. Des sols dont l'indice de plasticité est inférieur à 7 ne donnent pas lieu à la formation de filaments d'argile. Pour des indices variant de 7 à 11, des filaments se forment, mais leurs surfaces sont rugueuses. Pour les indices supérieurs à 11, les filaments ont un aspect lisse. Il n'est d'ailleurs pas possible, à partir de cet indice, de distinguer les sols par le seul examen des filaments ainsi formés.

Nous verrons plus loin qu'une connaissance approximative des teneurs en alcalis et en sels solubles est parfois nécessaire. On peut appliquer alors les tests simples suivants :

a) Sels solubles. Verser un peu d'acide chlorhydrique sur le sol : l'effervescence et les vides laissés donnent une indication de la quantité de carbonates dans le sol.

b) Alcalis. Remplir à moitié un récipient en verre avec un échantillon du sol. Ajouter de l'eau pure de façon à remplir les deux tiers du récipient ; ajouter alors une petite quantité de phtaléine du phénol à 1 %. Une coloration violacée de l'eau est le signe de la présence d'alcali dans le sol.

Ces quelques expériences grossières, ainsi que quelques tests simples dont nous discuterons à propos des différentes méthodes de construction en terre, permettront au prospecteur de décider s'il convient ou non de procéder à une analyse plus poussée en laboratoire. Néanmoins, avant d'en arriver là, le prospecteur doit se rendre compte si les sols qui semblent satisfaisants existent en quantité suffisante pour réaliser les constructions envisagées. Signalons à ce propos que pour l'adobe les travaux d'excavation doivent représenter 1,25 fois le volume des murs (diminué des ouvertures qui y seront pratiquées). Si l'on utilise le pisé, ou les blocs compactés, ce volume dépend probablement davantage du sol et du taux de compression. Bien entendu, il faut que le sol soit facilement accessible. Trop souvent les échantillons proviennent d'endroits qui se révèlent ensuite comme étant trop éloignés de l'endroit où l'on désire construire. Retenons que pour faire 1 000 briques d'adobe de taille moyenne, il faut quinze tonnes de terre.

Chaque fois qu'à un endroit la terre doit être utilisée à une grande échelle pour construire des bâtiments, il est recommandé d'effectuer les tests classiques de laboratoire, avant de décider de la méthode à adopter,

et des stabilisants à ajouter. Ceci peut sembler compliquer les analyses ; en fait il n'en est rien, puisque, quand il s'agit de construire un groupe de bâtiments, il suffit d'effectuer une seule série d'expériences (si le sol qu'on utilisera est d'une qualité homogène).

Les tests des professionnels permettent de déterminer ceux des composants du sol qui seraient nuisibles ; ils permettent aussi de déterminer les teneurs en sable, limon, argiles et colloïdes, ainsi que les propriétés physiques générales du sol. On peut alors à partir de cette information, décider de la méthode de construction à adopter (adobe, pisé, etc.) et constituer des échantillons que l'on étudie pour déterminer a) leur résistance à la compression et à la flexion, b) leurs changements de longueur en fonction de la température et en fonction d'une humidité correspondant à celle des grandes intempéries, c) leur résistance aux intempéries naturelles et, d) leur conductibilité thermique et leur résistance à des tests où ils sont alternativement mouillés et séchés ou bien gelés et dégelés. On peut alors déterminer le degré d'humidité le meilleur pour la mise en place de la terre, ainsi que l'intérêt qu'il y a d'ajouter des stabilisants pour accroître la résistance de la terre à l'humidité.

Il est peut-être temps maintenant de passer à une discussion des différentes méthodes permettant de faire des murs en terre, avant d'aborder la mise en œuvre qui dépend en partie des méthodes.

## CHAPITRE III

### MÉTHODES DE CONSTRUCTION DES MURS DE TERRE

#### Généralités

Les sols convenant à une méthode de construction peuvent fort bien ne pas convenir à une autre. Par exemple, dans la méthode du « bousillage » et de l'adobe coulée, le retrait peut causer une fissure excessive des murs, alors que le même sol peut être utilisé d'une façon satisfaisante pour faire des briques d'adobe qui ne sont utilisées en construction qu'après avoir subi leur retrait. Dans le pisé de terre et dans la méthode des blocs compactés, le processus de consolidation permet de réduire le retrait, ce que l'on doit toujours rechercher. Des sols ne convenant pas à la plupart des techniques peuvent être utilisés pour la méthode de clayonnage-garnissage où la terre est soutenue par une armature de bois.

Les expériences faites au cours des ans ont vu tomber en désuétude le bousillage, le clayonnage-garnissage, et l'adobe coulée, et ceci dans tous les pays où la texture du sol permettait d'utiliser des briques, du pisé, ou les nouvelles méthodes de compactage de blocs de terre à la machine. C'est en raison de cela, et malgré le regain d'intérêt que susciteront peut-être bientôt ces méthodes grâce aux principes de stabilisation des sols, que nous ne discuterons ici que brièvement les méthodes du bousillage, du garnissage et de l'adobe coulée. Nous insisterons surtout sur les méthodes qui sont actuellement satisfaisantes et sur la façon dont on peut encore les améliorer par des additions accroissant la stabilité de la construction. La stabilisation des sols constituera le corps de tout un chapitre et nous l'aborderons après avoir donné dans les pages qui suivent un résumé des différentes méthodes de construction.

Toutes les méthodes de construction en terre ont une caractéristique commune : la terre est mélangée à une proportion plus ou moins grande d'eau avant d'être mise en place ou moulée. Au cours de la description des différentes méthodes nous indiquerons des tests simples permettant de déterminer le degré d'humidité à adopter ; ces tests associés au contact communiqué par le sol, ou à son comportement quand on le manie, sont

fondés sur l'expérience et souffrent souvent pour les contrôles pratiques effectués sur le terrain.

Il est cependant préférable, du moins au début, de disposer d'une méthode plus précise pour évaluer le degré d'humidité libre d'un sol pendant la construction, ce qui peut permettre de se rapprocher du degré d'humidité recommandé par les techniciens. Voici un test répondant à ce souci :

Recueillir plusieurs échantillons pesant à peu près 500 g, les peser soigneusement, les faire sécher jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids constant, et les peser alors de nouveau. On détermine le degré d'humidité en divisant la perte en poids par le poids net de l'échantillon humide.

Quelle que soit la méthode de construction adoptée, on peut utiliser n'importe quelle qualité d'eau du moment qu'elle ne contient pas de composés organiques ou des sels minéraux en quantité trop grande.

#### **Détermination de quelques propriétés du sol utilisé en construction.**

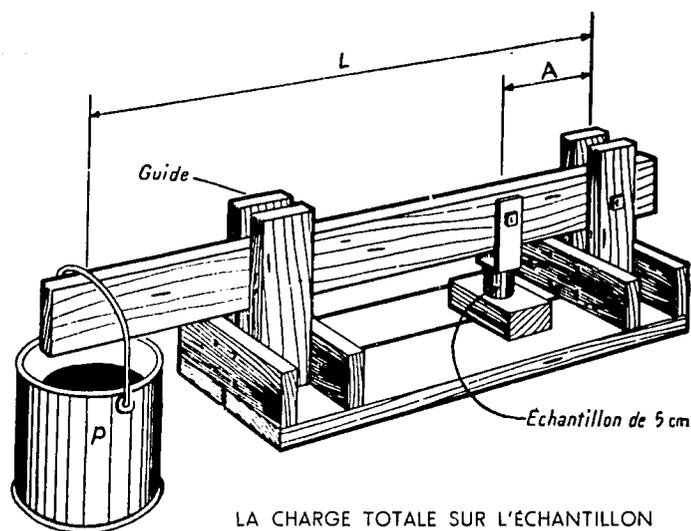
Un constructeur désirera sans doute des renseignements précis, établis en laboratoire, sur le sol qu'il doit utiliser. Nous allons voir comment un opérateur inexpérimenté peut obtenir des renseignements approximatifs sur la résistance à la compression, le module de rupture et l'absorption des échantillons qu'il a préparés au terme de ses investigations préliminaires.

#### **Compression.**

Fabriquer d'abord avec le mélange de sol offrant le plus de possibilités des échantillons cylindriques de 5 cm de diamètre et de 5 cm de haut ; il est commode pour cela d'utiliser des sections de tuyaux de la taille correspondante. Après un premier séchage, placer les échantillons dans un four à 66° C, jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids constant. On peut alors mesurer la résistance des échantillons à la compression soit au moyen d'une machine perfectionnée, si on peut disposer d'une, soit avec un système à base de levier permettant d'appliquer des charges connues en les augmentant progressivement ; (par exemple, en ajoutant progressivement de l'eau ou de la grenaille de plomb dans un seau accroché à l'extrémité d'un levier en bois). On assure le parallélisme des surfaces portantes en mettant du plâtre ou du ciment fin sur l'échantillon. Si des cylindres de cette taille ou de cette forme\* s'écrasent sous des charges totales inférieures à 150 kg, ceci indique une déficience du sol considéré.

---

\* Ces expériences permettent de comparer les qualités de divers échantillons parce que ceux-ci ont la même taille. Il faut signaler que des briques d'adobe de haute qualité peuvent résister à une pression égale à 35 kg/cm<sup>2</sup> si elles sont de taille normale, et à deux fois moins si elles sont deux fois plus petites.



LA CHARGE TOTALE SUR L'ÉCHANTILLON  
EST ÉGALE APPROXIMATIVEMENT A 50 kg

Fig. 1. — Machine simple permettant de réaliser sur place des tests de compression. La longueur L doit être déterminée par approximations successives, car elle dépend de la résistance du matériau et du poids nécessaire pour parvenir à l'écrasement.

### Résistance à la rupture (en flexion).

Placer de grands échantillons complètement séchés et ne comportant aucune fissure sur des supports constitués par des lames ou des tuyaux écartés d'environ 25 cm. Une charge concentrée est alors appliquée par l'intermédiaire d'une lame ou d'un tuyau, à égale distance des deux supports. On l'applique progressivement, à un taux correspondant à 250 kg par minute (soit une augmentation de la flèche de 1,25 mm par minute). On note la charge nécessaire pour rompre la brique. Il convient de placer du caoutchouc mousse ou un autre matériau élastique entre les lames pour assurer la régularité du contact des différentes surfaces. La résistance à la rupture peut être calculée par la formule suivante :

$$R = 37,5 \cdot \frac{P}{b \cdot d^2}$$

R : Résistance à la rupture (kg/cm<sup>2</sup>)

37,5 : Coefficient égal à  $\frac{3}{2} \times 25$  (25 cm = distance entre appuis)

b : largeur (cm)

d : épaisseur (cm)

On doit s'attendre à ce que la résistance à la rupture, calculée sur la moyenne de trois échantillons, ne soit pas inférieure à  $2,8 \text{ kg/cm}^2$  avec tolérance de  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  en moins pour une brique sur la série de trois.

#### **Absorption.**

On prend des cubes de 20 cm, que l'on taille dans des briques ou des blocs, et on les fait sécher jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids constant. Après refroidissement à la température ambiante, les échantillons sont placés sur une surface poreuse constamment saturée d'eau. Au bout d'une semaine, on détermine l'augmentation du poids des échantillons et on l'exprime en pourcentage de poids sec.

#### **Erosion.**

Un essai par arrosage qui tend à devenir d'un emploi classique utilise comme matériel un manomètre ordinaire et une tête d'arrosage de 10 cm de diamètre que l'on peut ajuster à une arrivée d'eau. Un échantillon préalablement séché est placé parallèlement à la tête d'arrosage, et à peu près à 10 cm d'elle. Pendant deux heures, l'eau est envoyée horizontalement et à une pression de  $1,4 \text{ kg/cm}^2$  contre la face verticale de l'échantillon. Les résultats de ce test ne sont qu'indicatifs, et la légère érosion ou le grêlage produit sur un sol stabilisé ne doivent pas être interprétés défavorablement.

Nous allons maintenant brièvement discuter des différents procédés de construction des murs en terre, sans parler des questions de stabilisation, de finition des murs, ou de mise en œuvre, qui seront abordées dans d'autres chapitres.

#### **Le clayonnage-garnissage.**

Dans cette méthode, on commence par construire une armature de poteaux et de perches sur laquelle on entrelace et on fixe des petites branches et des roseaux. C'est alors qu'on procède à un garnissage de boue qui se fait des deux côtés du clayonnage, et en utilisant une boue dont la consistance permette un travail facile.

Il est fréquent que des fissures apparaissent dans ces cloisons. Une méthode assez analogue consiste à construire un double clayonnage de perches et de branches dont l'intervalle est alors garni de boue. Ce genre de construction exige un entretien constant, encore que les additions de produits stabilisants offrent des possibilités d'amélioration.

**Bousillage.**

Dans la construction en bousillage telle qu'elle est pratiquée en Afrique Occidentale, le matériau est préparé en mélangeant des sols (si c'est nécessaire), en ajoutant de l'eau et en foulant le mélange avec les pieds. On laisse alors le mélange reposer en tas pendant un certain temps pour assurer une humidité uniforme et, peut-être, l'action des bactéries. Ce tas est défait et piétiné de nouveau immédiatement avant utilisation.



FIG. 2. — Construction du type clayonnage-garnissage, aux Indes

Des boules de la taille d'un ballon de foot-ball sont alors fabriquées et placées à la main de façon à constituer une couche du mur ; chaque couche a 30 ou 45 cm d'épaisseur et on doit la laisser sécher de un à trois jours avant de passer à la couche suivante. Les parois sont régularisées avec un bâton ou une truelle, puis aplanies.

Quand la hauteur du mur augmente, l'ouvrier s'assoit à califourchon et on lui lance les boules de terre. Aucun échafaudage n'est donc nécessaire.

Quand les murs se hent, il se produit en général un retrait sur toutes les parois, externes et internes. Quand ce retrait a eu lieu on enduit les surfaces de boue. Ce revêtement doit être refait périodiquement.

**L'adobe coulée ou le béton de boue.**

Cette méthode de construction consiste à manipuler la boue comme on le fait en général du béton au ciment Portland. On ajoute de l'eau au

sol et on mélange jusqu'à l'obtention d'une consistance pâteuse. On peut ajouter de la paille éventuellement. On place ensuite le mélange à la pelle dans des coffrages. La teneur en eau doit permettre un travail facile : un mélange trop sec est difficile à mettre en place, mais un mélange trop liquide donnera lieu à un retrait trop important, et mettra plus de temps à sécher complètement. Les murs sont en général bâtis par couches successives ; mais on utilise parfois de grands coffrages pour construire le mur d'un seul coup. Comme il faut ajouter de l'eau jusqu'à ce que la masse soit facile à mettre en place, il est essentiel que la terre utilisée ne nécessite qu'une faible quantité d'eau pour être amenée à ce stade. De toute façon ce procédé de construction ne convient pas à beaucoup de sols en raison du retrait considérable qui se produit au séchage.

Si les conditions météorologiques ne sont pas favorables, les murs doivent être protégés pendant leur construction.

#### **La brique d'adobe.**

Les briques d'adobe ont été largement utilisées en Amérique du Sud, en Amérique Centrale, dans le sud-ouest de l'Amérique du Nord, au sud de l'Europe, en Afrique et au Moyen Orient. Les tailles des briques utilisées varient du gros bloc employé en Amérique du Nord à la petite brique séchée au soleil employée en Egypte et au Moyen Orient. Néanmoins quelle que soit la taille de l'unité d'œuvre, il semble qu'on utilise uniformément le terme brique : brique d'adobe ou brique de boue.

Ce genre de construction a été très utilisé dans des régions où les pluies sont faibles, mais ce n'est pas une restriction impérative dans la mesure où les bâtiments sont construits correctement. Ceci d'ailleurs est spécialement vrai depuis que s'est développé l'emploi d'additions améliorant la résistance du sol à l'humidité. Nous discuterons plus loin la stabilisation de l'adobe. De toute façon, même si on utilise des stabilisants, il faut pouvoir mouler les briques pendant une période sèche, sinon la pluie les abîmera avant qu'il soit possible de les mettre en tas et de les protéger.

Les briques sont moulées avec de l'argile à l'état plastique dont la teneur en humidité atteint souvent 30 % : il faut en effet qu'il y ait assez d'eau pour que l'on puisse comprimer l'argile dans des moules. Bien que les spécialistes de la fabrication et de l'utilisation des briques d'adobe paraissent avoir des difficultés à définir les meilleurs pourcentages de sable, de limon, et d'argile, il semble que des terrains contenant jusqu'à 70 % d'argile soient satisfaisants. Si c'est bien exact, ce mode de construction doit être possible dans des régions où, par exemple, le pisé ne serait pas applicable.

On n'a pas à se limiter à l'emploi de sols très argileux, et on peut juger souhaitable d'ajouter du sable à certains argiles, de façon à amé-

liorer le matériau. Cette pratique est maintenant générale aux Etats Unis d'Amérique.

Pour se donner une idée de la possibilité d'utilisation d'un sol pour faire de l'adobe, on peut procéder comme suit : mouler une boule de 5 cm de diamètre avec de la terre prise sous les racines de l'herbe ; si cette boule sèche sans se fissurer dans un four de température assez basse, et si on ne peut ensuite l'écraser facilement, on doit pouvoir utiliser le sol en question.



FIG. 3. — Résidence d'Amérique du Nord construite en briques d'adobe stabilisée.

Si l'expérience n'est pas satisfaisante, on peut alors chercher si l'addition de sable n'améliorerait pas le produit. Nous conseillons de fabriquer six échantillons de briques (la tendance au fendillement se voit mal sur les petits échantillons) en utilisant les procédés de construction à grande échelle dont nous discuterons plus loin. Si le sol est une argile lourde, faire la première brique uniquement avec cette argile, la seconde avec trois parties de sol et une partie de sable, la troisième avec 2,5 parties de sol et 1,5 parties de sable, la quatrième de deux parties de sol et deux parties de sable et la sixième de une partie de sol et de trois parties de sable.

Si le sol originel contient beaucoup de sable, il n'est pas nécessaire de faire autant de mélanges. On peut également se contenter d'ajouter du sable jusqu'à ce que le mélange glisse à peine d'un sarcloir en le salis-

sant. On considère habituellement que les briques d'adobe sont satisfaisantes du point de vue de la fissuration s'il n'y a pas plus de trois fissures par brique, si chacune de ces fissures n'a pas plus de 3 mm de large, et si aucune ne traverse la brique. Certains ajoutent que les fissures ne doivent pas dépasser 8 cm.

Pour classer les spécimens fabriqués avec différents mélanges d'argile et de sable ou avec différents sols dont on dispose localement, on peut utiliser le tableau suivant.

CLASSEMENT DES SOLS EN VUE DE LEUR UTILISATION  
POUR FAIRE DES BRIQUES D'ADOBE

(Cocher les cases correspondant aux caractéristiques de l'échantillon considéré.)

	Echantillon de sol		
	1	2	3
<b>Mélange :</b>			
A : Le sol se mélange facilement .....	X		
B : Mélange difficile. Il faut détremper certaines motes, ou le sol a tendance à coller .....	X	X	
C : Impossible à mélanger de façon économique .....			
<b>Fissuration :</b>			
A : Aucun échantillon n'est fissuré .....			
B : Un ou deux échantillons sont fissurés .....			
C : Tous les échantillons sont fissurés .....			
<b>Erosion :</b>			
A : Mouiller et sécher l'échantillon dénude l'agrégat de structure ; mais pas de lessivage .....			
B : Il y a lessivage, mais pas de phénomène de fissuration ou de détachement d'éclats superficiels .....			
C : La brique s'effrite ; apparition de fissures superficielles .....			
<b>Résistance :</b>			
A : Coins et surfaces résistent ; brique difficile à rompre (il faut un marteau pour casser un coin) ....			
B : Les briques s'effritent aux coins mais demeurent maniables .....			
C : Les briques s'effritent, se rompent facilement ; on ne peut les mettre en tas ou les manipuler facilement .....			

Un sol excellent sera classé « A » dans chaque épreuve. Un sol ayant « B » partout peut servir à faire des briques pour constructions légères, mais il faudra sans doute protéger les briques. On ne peut faire de brique avec un sol qui mérite « C » pour l'une quelconque des qualités examinées.

Les expériences simples que nous venons de résumer sont seulement indicatives et on peut les considérer comme satisfaisantes pour la construction, à titre d'essai, d'un petit bâtiment sans étage. Cependant, comme nous l'avons dit, si l'on a l'intention de mettre en œuvre un projet important, il faut faire faire des tests dans un bon laboratoire. Notre expérience limitée nous a convaincu de la présence de laboratoires compétents dans la plupart des pays. Même dans les pays les moins développés on peut trouver un technicien compétent capable de mettre rapidement sur pied une série d'expériences.

Une fois qu'on a reconnu l'existence d'un sol convenable, il est assez facile de faire les briques. Les Indiens du sud-ouest des Etats-Unis utilisent un procédé qui pourrait être adopté par tous ceux qui, de par le monde, cherchent à améliorer eux-mêmes leurs conditions de logement.

On construit, sur le site de construction ou à proximité, un monticule de terre en forme de cratère. Puis après y avoir versé de l'eau, on malaxe jusqu'à obtention d'une consistance plastique, cette opération s'effectue souvent en piétinant la masse, et en la remuant avec un sarcloir pour assurer un mélange complet. On étend alors sur le dessus une couche de 3 à 5 cm de paille ou de foin haché assez court et on pétrit la masse pour bien distribuer ce liant. Si l'on veut éviter que la paille ne reste au fond, on ne doit l'ajouter que lorsque le mélange a été bien malaxé. Bien que certains spécialistes estiment que l'on ne doit pas ajouter un liant végétal, il peut être intéressant de signaler que dans certaines parties de l'Afrique et aussi à la Trinité, l'adobe (utilisée sous le nom de tapia) contient un liant herbeux (*Sporobocus indicus*), dont la fibre, résistante et durable, est coupée en morceaux de 8 à 10 cm avant d'être mélangée à de l'argile.

On laisse souvent l'herbe coupée dans un lait d'argile pendant assez longtemps avant de la mélanger au sol, ce qui permet aux matières non fibreuses de l'herbe de se décomposer.

On a procédé aux U.S.A. à un examen de l'état de décomposition des fibres dans l'adobe. On a pu trouver dans des briques vieilles de cent ans des herbes séchées conservées de manière si parfaite qu'elles étaient identifiables.

On choisit pour le moulage un sol assez plat et on y répand de la paille ou du sable pour empêcher les blocs ou les briques de coller au sol. La boue que l'on a préparée est prise et mise dans des moules en bois. Après avoir damé à la main, en ayant soin de bien remplir les coins, on aplanit la surface supérieure ; puis on enlève le moule (qui doit pou-

voir contenir de 2 à 4 briques), on le lave et on recommence. Si le moule ne s'enlève pas facilement, quelques petits coups permettent de dégager les briques.

En quelques jours, les briques sont prêtes pour le séchage qui consiste à les poser sur la trémie. Plus tard, on les met en piles pour un séchage prolongé de plusieurs semaines, en les protégeant éventuellement de la pluie. Il vaut mieux ne pas faire de briques quand le temps ne permet pas le séchage. S'il y a des risques de gel, il faut les protéger en les couvrant.

La taille des briques change en fonction de l'épaisseur du mur à construire ; en général, l'épaisseur varie de 10 à 13 cm, la largeur de 20 à 30 cm et la longueur de 40 à 50 cm. La résistance moyenne à la pression est de 21 kg/cm<sup>2</sup>.

Il ne faut utiliser que des briques sèches ayant une teneur en humidité comprise entre 2,5 et 4 %. On les pose avec des joints de 1 à 2 cm qui sont faits avec du mortier d'adobe dont la composition ne diffère de celle des briques que par l'absence de gravier ou de paille. On n'utilise pas ce mortier seulement par commodité, mais également parce qu'il possède le même coefficient d'expansion que les briques. Il faut laisser les murs sécher longuement avant de leur appliquer un revêtement protecteur (si un tel revêtement est nécessaire). Il faut attendre que s'effectue le tassement du mur, tassement qui peut parfois atteindre 2 ou 3 cm pour une hauteur de 3 mètres.

Quand il faut utiliser du béton armé pour constituer des linteaux, des tirants, etc., les Indiens prennent grand soin d'empêcher l'humidité provenant du béton d'atteindre les murs de terre car ils sont d'avis que des réactions chimiques défavorables à la tenue de ces murs pourraient se produire. Des couches épaisses de papier imperméable sont placées sur la dernière couche de brique, immédiatement sous le béton.

Les précautions à prendre en mettant en place les briques d'adobe sont les mêmes que celles concernant les briques ordinaires : il faut prendre soin d'alterner les joints d'une couche à l'autre, et construire des angles solides. En huit heures une équipe de trois hommes doit pouvoir poser de 300 à 350 briques d'un mur moyen.

L'utilisation pour le mortier de la même boue que pour les briques permet d'obtenir une similitude des coefficients de dilatation et de contraction. Néanmoins, certains spécialistes préconisent l'utilisation de mortiers ordinaires à la chaux ou au ciment : si leur coût est plus élevé, ils « prennent » plus vite et sont évidemment plus solides. On ajoute parfois un peu de ciment Portland au mortier de boue.

On peut estimer grossièrement la quantité de mortier nécessaire pour la construction d'un mur en prenant simplement 1/7 du volume de ce mur.



FIG. 4. — Pose de briques d'adobe au cours de la construction d'une école rurale à Zoogowee (Libéria).

Pour augmenter la production de briques d'adobe au-delà de ce que permet la méthode que nous avons décrite, certains spécialistes recommandent d'utiliser un grand cadre de bois ayant la profondeur d'une brique, et dont les dimensions soient les multiples de celles d'une brique. On remplit ce cadre de mélange, et l'on « dame ». On taille alors les briques dans la masse au moyen d'un couteau.

On a également introduit des procédés de fabrication mécanique. On utilise des appareils tels que des malaxeurs d'argile, des pétrins et des malaxeurs à plâtres. Les bétonneuses ne donnent en général pas satisfaction. On peut obtenir des briques aux surfaces plus lisses en utilisant des formes en métal ou en bois recouvert de métal.

Dans les entreprises travaillant à grande échelle, la terre est souvent amenée par un bulldozer ou un scraper jusqu'à un convoyeur à bande qui la transporte vers de grands malaxeurs où on lui ajoute de l'eau et tout autre ingrédient jugé nécessaire. Dans un bon processus de malaxage, un contrôle permanent permet de maintenir constante la qualité du produit.

La terre est alors chargée dans une trémie, sur une unité mobile de moulage que l'on dirige ensuite vers l'aire où sont moulées les briques.

L'unité, après avoir déposé du papier sur le sol, forme vingt briques (ou davantage), qu'elle recouvre de papier pour assurer le contrôle du début de séchage. On arrive par ces méthodes à 1 200 briques par heure, ou plus.

Moyennant quelques modifications on a utilisé des usines fabricant ordinairement des briques cuites pour fabriquer des briques séchées au soleil et stabilisées à l'asphalte. On pense pouvoir utiliser cette méthode également pour les briques non stabilisées. Après le malaxage, un ruban de mélange est forcé à travers une ouverture, coupé au fil comme on le fait pour les briques à cuire, et séché dans des fours dont on contrôle la température.

La très ancienne méthode qu'employaient les Egyptiens pour faire des briques de boue séchées au soleil peut également être utile. Dans cette méthode, on fabrique des unités plus petites que les briques d'adobe, et on peut par conséquent introduire des modifications dans le moulage.

Un ouvrier, un gamin maniant le moule et plaçant les briques sur le sol et une femme apportant la terre préparée à l'ouvrier peuvent produire 8 briques à la minute ; et ceci, en dépit du fait qu'il faut placer les briques avec soin sur le sol, puisqu'une rugosité excessive empêcherait de réaliser des joints de mortier suffisamment fins.

On moule la terre en jetant vigoureusement un léger excès de mélange terreux dans le moule ; on enlève l'excès de la surface supérieure en raclant avec un instrument ou simplement avec la main. Les moules utilisés produisent des briques de 1,8 litres qui, sèches, ont les dimensions suivantes : épaisseur 6 cm, largeur 12 cm, longueur 25 cm. En général, le moule est construit de façon à ce qu'on puisse faire 2 briques à la fois, et on emploie parfois deux ouvriers, chacun emplissant l'une des cavités. En général, cependant, l'ouvrier est seul et achève un cycle en à peu 15 secondes. Deux ouvriers experts travaillant sur un moule peuvent abaisser ce temps à 5 secondes.

On moule couramment deux types de briques en Egypte. Dans le premier cas le moule est ouvert des deux côtés, et on le mouille complètement dans un récipient avant de le remplir de boue. On racle fréquemment les parois pour assurer la qualité de la surface des briques. Le moule est placé sur une planche où l'on a jeté un peu de sable. L'ouvrier lance la boue dans le moule et enlève ce qui déborde avec un racloir, ou à la main. Aussitôt après, un aide enlève la planche et l'emmène sur l'air de séchage, la pose sur le sol, enlève le moule et laisse place ainsi à la boue mise en forme.

Dans le second cas les moules sont analogues, à ceci près qu'une face est fermée (le fond). Les moules sont mouillés, puis sablés de façon à ce que la brique puisse être enlevée facilement. Il y a quatre trous dans ces moules, près des angles de la brique qui font partie de la face en contact avec le moule. Ces trous permettent à la brique humide d'être enlevée

du moule. Ce type de brique sèche plus facilement que le premier, et c'est celui que l'on emploie habituellement dans la production à grande échelle. L'artisan du village fait en général des briques du premier type et utilise seulement des moules à une brique.

Pour des informations plus précises sur l'adobe, le lecteur est renvoyé aux publications citées en bibliographie.

### **Hourdage et Cajon.**

Dans ces types de construction, qui sont assez semblables, un mélange argileux sous forme massive ou sous forme de briques est utilisé pour constituer des panneaux soutenus par une charpente de mur. Les méthodes de malaxage et de pose suivent les mêmes règles que celles qui s'appliquent à l'adobe. Dans ces procédés, la terre sert de garnissage d'une charpente, d'isolant, et de base pour un stuc ou un plâtre.



FIG. 5. — Cette maison, construite à Téhéran par la mission américaine, a ses murs en briques d'adobe stabilisée recouverts de plâtre, et est couverte d'un toit en plaques de béton armé de 10 cm d'épaisseur.

### *Le Pisé*

On fait des murs en pisé en damant de la terre humide dans des coffrages. Les murs sont damés directement sur les fondations, et sont élevés par sections successives. Les coffrages sont analogues à ceux que l'on utilise pour le béton ; ils doivent seulement être plus solides.

Un avantage de ce procédé réside dans le fait qu'il requiert moins de manipulation de matériau que tous les autres. Il y a beaucoup de gens

pour penser que cet avantage compense largement l'inconvénient que représente l'utilisation de coffrages lourds et relativement compliqués qu'il faut exhausser périodiquement à mesure que le travail avance. Rappelons à ce propos que, dans la construction de briques d'adobe, il faut quinze tonnes de terre pour mouler 1 000 briques de taille moyenne du genre de celles employées dans le Sud-Ouest de l'Amérique du Nord.

Les murs de pisé bâtis avec les sols les meilleurs donnent d'abord quelques signes d'érosion ; mais ils deviennent très résistants au bout de deux ou trois ans. Les meilleurs murs deviennent un peu rugueux quand ils ont reçu des averses. Ceux qui sont construits avec des sols de qualité moyenne peuvent s'effriter un peu pendant les trois premières années. Aussi verrons-nous que les murs en pisé, si ils n'ont pas été bâtis avec des sols de très grande qualité doivent être protégés (sauf en climat modéré). Ceci n'élimine d'ailleurs pas du tout l'intérêt de ce procédé de construction. La protection peut être assurée en recouvrant les murs de certains enduits. Mais un toit surplombant et des fondations capables de résister à l'eau font souvent l'affaire. Des additions de sable, de chaux ou de ciment à un sol de qualité moyenne permettent souvent d'obtenir d'excellents murs.



FIG. 6. — En Iran, des ouvriers terminent les murs en pisé d'une maison, avant de monter la charpente du toit.

Comme dans le cas de l'adobe, il faut pour utiliser le pisé :

- a) faire une étude préliminaire des constituants du sol ;
- b) les doser si c'est nécessaire ;
- c) déterminer la teneur en eau ;
- d) décider de la nature et de la quantité de stabilisant à employer ;

e) préciser les conditions de damage.

Ces différentes étapes sont nécessaires si l'on veut obtenir un mélange présentant un faible retrait, une faible capillarité, une bonne résistance à la compression, une résistance maximale à l'eau et à l'érosion, et des variations de volume réduites.

La teneur optimale en humidité varie en fonction inverse de la quantité de sable présentée dans le sol. Un sol sableux contenant seulement 7 à 8 % d'humidité peut convenir, alors qu'un sol argileux nécessite 16 à 18 % d'humidité pour pouvoir être utilisé dans les meilleures conditions.

Pour tout sol, l'importance du retrait dépend de l'humidité qui doit cependant être suffisante pour bien lier toutes les particules. Les sols damés à une humidité inférieure à celle correspondant à l'apparition du retrait présentent normalement peu de fissures.

On peut se donner une idée correcte de la teneur en humidité d'un sol par le contact qu'il donne lorsqu'on le comprime dans la main. Voici un procédé simple pour obtenir un sol ayant une teneur en eau de 12 %. Placer un échantillon de terre dans un plat, et le sécher au four. Mettre alors 4 kg de la terre sèche dans un pot à fleurs (ou tout autre récipient troué à la base. Placer le vase dans un plat contenant un demi litre d'eau. La terre absorbera l'eau par capillarité. Le sol, mouillé uniformément, contiendra 12 % d'eau et aura une consistance convenable pour être damé.

L'architecte lyonnais Jean Ronciolet (1743-1829) a dit, paraît-il, que la terre à utiliser pour le pisé doit contenir assez d'eau pour qu'une « poignée lancée sur le tas, conserve la forme qu'on lui avait donnée en la comprimant légèrement à la main ». On a également dit que, à la teneur optimale en eau, une boule du matériau roulée dans la main, doit la mouiller, sans cependant devenir luisante.

Il est bon, au moment de choisir le sol, de se rappeler que la teneur en eau du sol damé a un effet direct sur sa résistance à la compression. Les sols trop secs perdent beaucoup de leur résistance, et c'est aussi souvent le cas des sols trop humides. On peut corriger un sol trop sec en l'aspergeant d'eau, en le retournant soigneusement et en le laissant reposer 24 heures pour permettre à l'humidité de s'uniformiser.

Il n'est pas nécessaire de tamiser le sol que l'on doit damer, à moins qu'il ne contienne des mottes dures ou des corps étrangers, comme des racines. Des pierres de la taille d'un œuf de poule n'ont rien de gênant si il n'y en a pas en trop grande quantité. Des agrégats allant jusqu'à 1/2 cm et ne dépassant pas 45 % du total accroissent la résistance à la compression. Ceux qui sont les plus gros sont utiles, mais ne doivent pas dépasser 35 % sous peine d'affaiblir cette résistance.

Les sols les plus favorables à ce genre de construction semblent être ceux qui contiennent beaucoup de sable et de gravier, 40 % au moins et plutôt 75 %. Les sols agricoles contiennent en général 30 à 50 % de

sable et de gravier. On peut facilement ajouter du sable aux sols qui en manquent un peu.

D'une façon générale, il est probable, que la résistance des sols décroît en fonction inverse de leur teneur en sable si celle-ci dépasse 30 %. Bien entendu, une teneur en sable trop faible est la cause de fissures et craquelage excessifs. Néanmoins la solidité n'est que secondaire ; ce qui est très important, c'est la durabilité qu'assure le sable.

On a observé certains cas où des sols à faible teneur en sable résistaient bien aux agents atmosphériques. En examinant cette anomalie apparente, on s'est rendu compte qu'une haute teneur en colloïdes diminuait la qualité du sol, ce qui explique que des sols contenant peu de sable, mais également peu de colloïdes (moins de 40 %) puissent bien résister aux intempéries. Les murs contenant moins de 30 % de colloïdes sont en général excellents et peuvent durer des années, sans aucune protection. Cette question de la teneur en colloïdes explique en partie le comportement inattendu de certains sols. C'est ainsi qu'en Inde, où l'on avait trouvé que la teneur en sable devait varier entre 50 et 80 % (optimum 75 %) on a pu constater que des sols ne contenant que 20 % de sable étaient très satisfaisants.

On peut se donner une idée de la qualité d'un sol en observant les parois d'une excavation ; si elles restent intactes au lieu de s'effondrer facilement, il y a peut-être lieu de pousser plus loin les recherches. De même si un sentier reste ferme par temps humide, ou si un morceau de sol sec est difficile à écraser entre les doigts.

Voici un test simple donnant une idée de la possibilité d'utiliser un sol ou un mélange de sols pour bâtir en pisé. Placer un seau dans un trou pratiqué dans le sol et entouré de terre bien tassée. Le sol que l'on veut expérimenter est tassé dans le seau par couches de 7 à 10 cm. Quand le seau est plein, on le retourne, on laisse sécher de façon à pouvoir enlever le seau après le retrait du sol. On couvre alors l'échantillon pour le protéger de la pluie. Si, exposé à l'air, l'échantillon continue à gagner en densité et en fermeté, et si il ne se fissure et ne s'effrite pas, il est très probable que l'emploi de ce sol donnera satisfaction. Signalons encore qu'un sol dont l'indice de plasticité est compris entre 2 et 15 peut probablement être mis en œuvre sous forme de pisé. Nous avons donné au chapitre II un reste permettant de juger de cet indice de plasticité.

Les coffrages utilisés pour faire du pisé doivent être très solides puisque le damage les soumet à une poussée considérable. Il faut disposer au moins de deux jeux de coffrages de façon à pouvoir bâtir les angles d'une seule pièce. Les deux jeux peuvent d'ailleurs suffire, en particulier si la longueur de l'un d'entre eux n'est pas supérieure à la plus petite dimension intérieure du bâtiment.

Les parois d'un coffrage « standard » doivent avoir une épaisseur d'au moins 4 cm. Pour un coffrage de 1 mètre de haut, les membrures mobiles doivent avoir une section d'au moins 10×10 cm<sup>2</sup>. Les parois sont main-

tenues ensemble par des tiges filetées supérieures et inférieures qui traversent le mur, les parois du coffrage et les membrures. En général une des extrémités de ces tiges porte un écrou simple, tandis que celle qui correspond à l'extérieur du mur porte un écrou à ailettes, plus rapidement maniable.

Quand on doit construire un angle, on rend la jonction des coffrages rigides au moyen de cornières boulonnées sur leurs parois respectives. La figure 7 représente les plans d'un coffrage plus léger que celui que nous venons de décrire, mais qui paraît avoir été satisfaisant.

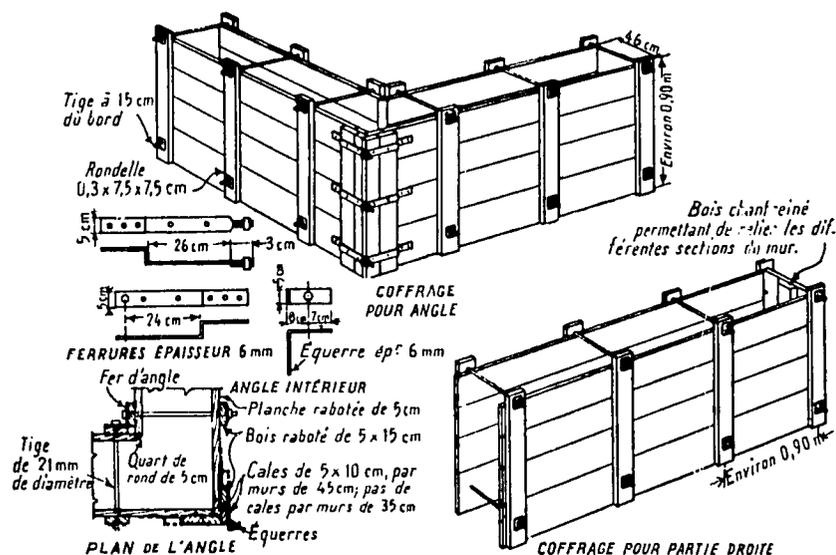


FIG. 7. — Coffrages pour mise en place du pisé (partie droite de mur et angle).

Dans une version modifiée de ce coffrage, les parois sont maintenues en porte-à-faux par des étréignoirs verticaux. On peut alors placer un rouleau à chaque extrémité du coffrage, entre les deux parois. Un de ces rouleaux est placé en haut du coffrage, l'autre en bas ; pendant qu'on utilise ce coffrage, le rouleau inférieur repose sur la partie déjà construite ; quand on a achevé, le rouleau supérieur peut rouler sur la partie que l'on vient d'achever. On desserre alors les étréignoirs et on fait rouler le coffrage dans une nouvelle position. Cette technique permet de gagner beaucoup de temps, surtout quand on a affaire à un mur droit et assez long.

Pour essayer de faciliter la construction, on a construit des coffrages plus légers. On utilise alors deux sortes de coffrages : l'un pour les parties droites, et l'autre pour les angles. On a ainsi construit un coffrage pour parties droites (2 m de long et 45 cm de haut) avec du contre-plaqué

de 2 cm. Des membrures (5×10 cm) étaient placées verticalement et à une distance de 1 m ; des membrures de même section étaient placées dans le sens de la longueur, en haut et en bas ; et la liaison était assurée par des tiges filetées de 1,5 cm de diamètre placées à 85 cm des bords du coffrage. Le poids total était de 70 kg. On a également construit des coffrages légers en métal.

Les coffrages en bois sont souvent huilés à l'huile de lin lors de leur construction : par la suite on utilise de la vieille huile de vidange qui empêche la terre de coller.

Pour que le mur soit bien droit, il faut vérifier l'alignement des coffrages chaque fois qu'on modifie leur position. En plaçant des baguettes chanfreinées dans les angles du coffrage, on évite que les murs ne présentent ensuite des angles trop nets et fragiles. On donne souvent aux cadres des portes et des fenêtres une épaisseur égale à celle des murs, et on les met en position avant de construire le mur. On peut, aussi mettre un coffrage temporaire qui sera enlevé plus tard.



FIG. 8. — A Formose, un bloc de terre compactée est retiré du moule.

Si l'on rencontre des difficultés à retirer les tiges, en fin d'opération, on peut mettre un peu de sable sur la tige avant de placer la terre. Quand on a enlevé les tiges, on bouche les trous (et aussi les autres défauts du mur) avec du mortier à base de ciment Portland très sec. Une petite auge en forme de V et une tige en bois (pour tasser) facilitent ce travail. S'il faut réparer une surface plus importante, on utilise du mortier que l'on maintient par les clous préalablement plantés dans le mur.

Après beaucoup d'essais, certains spécialistes considèrent que le meilleur outil de tassage est un instrument ayant une tête cubique (8 cm de côté), en fonte ou en acier. Le manche est en général une tige de fer de 2 ou 3 cm de diamètre et de 1,65 m de long. Le poids total du pilon doit être de 7 à 9 kg. Si l'on utilise d'autres dimensions, il est bon en tout cas que le poids de l'outil soit de 250 à 300 g par cm<sup>2</sup> de surface utile. Des pilons en bois garnis de métal peuvent très bien être employés s'ils vérifient ces conditions. On a constaté qu'en général, il valait mieux que la surface utile soit plate que convexe.

Quand on construit le mur, on ne met que quelques centimètres du mélange dans le coffrage. Si l'on ne parvient pas alors à damer jusqu'à ce que le mélange devienne dur et résonne sous les coups, c'est que la teneur en eau est incorrecte (et, probablement, trop forte). Il faut d'abord tasser la terre qui est près des angles et des parois. On tasse ainsi les couches les unes après les autres. Quand on amène le coffrage en position sur une partie déjà construite, on doit rendre rugueux le sommet de cette partie, puis le nettoyer et le mouiller.

L'intensité du pilonnage est très importante, puisque la résistance à la compression, et, probablement, la longévité du mur en dépendent. D'un point de vue pratique, si l'on utilise un pilon de 9 kg ayant une surface utile de 64 cm<sup>2</sup>, on obtient l'intensité voulue en soulevant le pilon de 30 cm au-dessus de la surface et en l'abaissant de toutes ses forces.

Si le travail est fait par une équipe de quatre hommes, l'un peut mélanger la terre sur un plancher (pour assurer une teneur en eau uniforme) et la placer dans les coffrages pendant que les trois autres se chargent du damage. Lors d'une expérience de la sorte, chaque ouvrier dama 60 dm<sup>3</sup> de mur en une heure. Lors d'une autre expérience, une équipe de trois hommes (l'un mélangeant et plaçant la terre, les deux autres tassant), réussit à bâtir chaque jour une moyenne de 5 m<sup>2</sup> d'un mur de 15 cm d'épaisseur. Si la main-d'œuvre est coûteuse, et que l'on désire mécaniser le travail, il est logique d'utiliser un outil à air comprimé : les coffrages à utiliser alors ne doivent pas dépasser 60 cm de haut.

On peut travailler par n'importe quel temps raisonnable si le sol reste sec. Le froid n'est pas trop grave, si le sol ne gèle pas et si la température ne baisse pas trop au-dessous de 0° C.

Quand on construit un pignon, il n'est pas conseillé de tasser le mur parallèlement à la ligne du toit. Les murs en question sont damés par

sections horizontales ce qui donne des « marches » que l'on régularise par la suite. On utilise alors souvent des blocs faits de la même façon que les murs. Il est également commode d'utiliser ce genre de blocs pour réaliser des cloisons à l'intérieur de la maison. Un bon mélange pour faire ce genre de blocs est constitué de « dagga » et de ciment Portland, c'est-à-dire, pour un sol moyen, de deux parties de sable, une partie d'argile sableuse et un tiers de partie de ciment Portland. On a également utilisé pour cela de la chaux.

Le lecteur désirant davantage de renseignements sur l'utilisation du pisé est renvoyé à la bibliographie de cette brochure.

#### **Les blocs compactés à la machine.**

On a mis au point un procédé permettant d'utiliser des machines, mues ou non par un moteur, pour compacter des blocs de terre, avec ou sans stabilisants. Le procédé promet beaucoup et a été largement utilisé en Afrique ainsi que dans d'autres parties du monde.

Même avec des machines petites, mobiles et mues par un opérateur, on peut appliquer des pressions de 70 à 105 kg/cm<sup>2</sup> sur les blocs que l'on forme. Les blocs ont en général des dimensions régulières, des arêtes nettes, et sont très denses. Il y a en général une variété de matrices permettant de changer les tailles et les formes ; ces matrices permettent de préparer des blocs destinés à être posés d'une façon habituelle, mais elles permettent aussi de les construire avec des joints en V grâce auxquels on peut bâtir le mur en posant les blocs les uns sur les autres sans les cimenter.

S'ils sont compactés à partir des sols les meilleurs, les blocs résistent bien aux intempéries sans qu'il soit besoin d'ajouter de stabilisants. En général, cependant, on ajoute un peu de ciment ou de chaux pour garantir que le mur, ou au moins sa partie inférieure, qui est en contact avec le sol, pourront supporter n'importe quelles conditions d'humidité. On a pu constater que les murs construits ainsi avaient une résistance à la compression allant jusqu'à 100 kg/cm<sup>2</sup>. Dans ces conditions, il n'est plus nécessaire de construire des murs aussi épais que l'exigeaient les techniques de l'adobe ou du pisé. Les additions de ciment Portland pratiquées varient de 2 à 10 % ; et l'on connaît un exemple où de la chaux de plâtrier, dans la proportion de une partie pour 10 de sol, a conduit à un résultat comparable à celui obtenu avec du ciment.

Les besoins en main-d'œuvre sont assez souples ; mais il faut compter au moins quatre hommes pour utiliser une machine à plein rendement : l'un malaxe, deux autres font marcher la machine et le dernier va mettre les blocs en tas.

Les constructeurs affirment que l'on peut utiliser n'importe quel sol contenant assez de sable, et au moins 18 % d'argile, en faisant au besoin

des additions. Les sols latéritiques d'Afrique et sans doute beaucoup d'autres sols peuvent être utilisés sans stabilisants. Il est très vraisemblable que des sols convenant à peu près à la construction en pisé doivent présenter les mêmes propriétés si on les utilise pour compacter des blocs (on prend seulement soin d'enlever les pierres et les plus gros graviers). Cependant, la taille des murs étant limitée à l'épaisseur des blocs produits par la machine, il est probable qu'il faut utiliser les additions de façon plus systématique que pour l'adobe et le pisé.



FIG. 9. — Construction d'une maison à Formose mettant en jeu des blocs de terre compactés à la machine.

L'équipement nécessaire à une production à petite échelle comprend :

- a) une pioche et une brouette ;
- b) deux tamis : un à maille de 7 mm, et l'autre à maille de 3 mm ;

- c) une boîte qui servira à mesurer le ciment ou la chaux et qui doit être maniable (capacité : par exemple 30 litres).
- d) une boîte qui permettra de mesurer la quantité de terre nécessaire pour faire un bloc ;
- e) des plateaux en bois assez grands pour pouvoir contenir plusieurs tas de blocs. On peut les faire avec du bois de charpente, en clouant des planches de deux centimètres d'épaisseur sur deux barres ( $15 \times 5 \text{ cm}^2$ ) dépassant les planches et servant de manches. On doit avoir assez de plateaux pour pouvoir ranger pendant la nuit la production d'une journée ;
- f) une machine permettant de comprimer la terre.

On peut considérer comme assez caractéristique la description suivante d'une fabrication de blocs en Birmanie. On ajoute, dans ce cas-là, du ciment au sol ; mais le procédé serait fondamentalement le même si on ne faisait pas cette addition. On remarquera que les blocs produits portaient une moulure en V sur deux de leurs côtés et une rainure correspondante sur les côtés opposés ; ceci, afin de pouvoir dresser le mur sans mortier. La lecture de ce qui va suivre fera apparaître certaines difficultés qui furent rencontrées dans la construction de ces murs « secs ». Ces difficultés étaient sans doute dues à des conditions locales, car elles n'ont pas été rencontrées ailleurs.

« On effectua des tests en laboratoire pour déterminer la teneur en eau et pour décider de la quantité de ciment qu'il faudrait incorporer pour obtenir les meilleurs blocs. On fit des blocs échantillons contenant 1 à 20 % d'humidité et 1 à 10 % de ciment ; on trouva ainsi que les blocs contenant 11 à 13 % d'humidité et 5 % de ciment étaient « stables ». Cette stabilité fut déterminée en soumettant les blocs au test des « 24 heures », qui consiste à les arroser pendant les 12 heures de nuit et à les faire sécher au soleil pendant la journée. Au bout d'une longue période il y avait peu de désagrégation. Les blocs à 4 % se détériorèrent à peu près en trente jours.

« Le sol mélangé avec 12 % d'eau était juste assez humide pour s'agglomérer quand on le serrait dans la main.

« Il y avait très peu de différence de résistance entre les échantillons contenant 11,12 ou 13 % d'humidité ; on jugea donc que les petites variations auraient peu d'importance.

« Ceci est vrai pour un sol de Birmanie et ne le serait peut-être pas ailleurs.

« Nos gens apprirent à reconnaître la teneur en humidité du sol en le tâtant et en le malaxant à la main. Ceci fût rapidement assimilable et par les ouvriers du laboratoire, et par les villageois.

« On retira le sol d'une carrière en le brisant le plus possible. Il fut alors porté à l'aire de malaxage où on le tamisa deux fois. Si le sol est sec, il est bon d'ajouter de l'eau avec un arrosoir et de façon périodique,

après le second tamisage ; on peut faire cette opération chaque fois qu'on a tamisé deux ou trois centimètres. Cette pratique permet une meilleure distribution de l'humidité qui atteint ainsi chaque particule du sol ; il faut d'ailleurs procéder ensuite à un malaxage prolongé.

« On laisse alors la terre reposer jusqu'au lendemain, ce qui favorise aussi l'uniformisation de l'eau dans la masse. On ajoute alors le ciment en prenant soin de le mesurer. Pour l'un des mélanges nous utilisâmes 27 boîtes de 30 litres et un sac de ciment. Dans d'autres cas, la quantité de ciment fût doublée. Le mélange fut ensuite passé de nouveau au tamis le plus fin, puis on procéda à la fabrication des blocs. Il est bien clair qu'on ne doit ajouter le ciment qu'immédiatement avant la production des blocs.

« Le fouissage, le tamisage et le malaxage sont des travaux salissants et durs : la fabrication proprement dite des blocs est simple. Dans une équipe de gens travaillant simultanément, il est bon de permuter les rôles.

« Il faut deux hommes à la machine pour obtenir la force nécessaire à un bon compactage. Pendant que l'un enlève le bloc de la machine et le met sur une planche, l'autre remplit une mesure qu'il verse ensuite dans la machine. Un des inconvénients de la machine est que son magasin est trop petit pour contenir la terre nécessaire pour faire un bloc, si on ne prend soin de la tasser à la main, ce qui ralentit évidemment la production. Une façon de tourner la difficulté est de faire des blocs de 8 cm au lieu de 10. On répand un peu de ciment en poussière dans le magasin avant chaque opération, pour empêcher les blocs de coller. Une équipe de six hommes sans entraînement peut produire en moyenne 400 blocs par jour. Pour la maison dont nous avons fait les plans il fallait 2 900 blocs. Cela exigea donc un travail d'une semaine pour une équipe de six hommes.

« On peut mettre sans danger les blocs fraîchement terminés les uns sur les autres. Nous avons ainsi mis jusqu'à 10 blocs les uns sur les autres sans en abîmer aucun. Pour éviter que l'évaporation de l'eau ne se produise avant la prise du ciment, il est préférable de laisser les blocs à l'ombre pendant les 24 heures qui suivent leur fabrication. Il leur faut un mois pour bien sécher, mais on peut les utiliser pour la construction trois ou quatre jours après leur fabrication, et ceci, apparemment sans danger.

« Les blocs sèchent irrégulièrement ; il arrive également que des parcelles de terre adhèrent à leurs parois, pour ces deux raisons on ne peut poser un bloc sans utiliser de mortier. Cependant, un joint de mortier en terre stabilisée posé toutes les quatre rangées de blocs, stabilise le mur et en accroît beaucoup la solidité. Cette opération est lente : il faut huit fois plus de temps pour poser une rangée de blocs avec du mortier

que sans mortier. Le résultat est assez mauvais tant que les ouvriers n'ont pas appris à bien utiliser le mortier.

« Les moulures en V verticales doivent se succéder régulièrement sur une rangée de blocs faisant le tour de la maison ; il faut alterner leur orientation à chaque rangée.

« Les blocs de 10 cm que nous utilisâmes supportent une pression de 21 kg/cm<sup>2</sup>. On peut y planter des clous, en particulier pour placer les montants de portes et les cadres de fenêtres. Il vaut mieux planter les clous au centre des blocs que près des bords.

« Nos blocs s'effritent facilement. Ils ne peuvent supporter le traitement qu'on fait subir aux matériaux ordinaires de constructions (briques). Aussi faut-il protéger toute surface destinée à être soumise à un traitement plus brutal. Tel est le cas des seuils de portes, des rebords de fenêtres, et même des angles de la maison. Un badigeon de ciment empêche le mur de s'écailler, il le rend plus lisse et le protège de l'humidité. On peut l'appliquer avec un vieux chiffon ou un pinceau.

« On peut couper les blocs à la scie, à condition de ne pas trop se soucier de ce que devient la lame... On ne peut cogner directement sur les blocs, en raison de cela, les poutres supportant les planchers ne peuvent être enfoncées dans le mur, et il faut les soutenir par des fondations supplémentaires. »

## CHAPITRE IV

### STABILISATION DE LA TERRE PAR L'EMPLOI D'ADDITIONS

#### Généralités

Nous avons vu dans les chapitres précédents comment on peut utiliser la terre pour en faire un matériau de construction, et comment ce matériau peut être mis en place. Jusqu'ici, et à part quelques brèves allusions à certaines additions, nous nous sommes occupés de sols dont l'argile permet l'utilisation en construction par son action de liant, et dont la teneur en sable permet de réduire les variations en volume. Nous avons signalé les additions de fibres végétales. Nous avons également vu que le tassage améliore la résistance aux intempéries (pisé, blocs préfabriqués).

Les renseignements que nous avons donnés jusqu'ici sont insuffisants. Trop souvent, des villageois disposant de peu de ressources et d'outils ont eu des déboires après la construction de maisons en terre. Trop souvent leur maison a demandé un entretien permanent, surtout pendant la saison des pluies. Il a fallu procéder à des remplacements fréquents. Quand l'homme est malade ou trop vieux pour entretenir son logis correctement, celui-ci peut devenir dangereux pour lui et sa famille. Ce sont ces problèmes qui ont conduit à abandonner l'utilisation de la terre comme matériau de construction dans les sociétés plus développées. Mais ces circonstances peuvent être évitées. On peut stabiliser le sol dans une plus ou moins grande mesure qui dépend de sa qualité. Et c'est, bien entendu, l'application de cette possibilité qui a ranimé en partie l'intérêt que présente l'utilisation de la terre.

Avant de discuter des agents de stabilisation, il est bon de revoir quelques caractéristiques du sol qui permettront de mieux évaluer ces agents.

La stabilité d'un sol naturel est due à la présence de limon et d'argile (y compris l'argile colloïdale) qui lient ensemble le sable et les grains minéraux. Les particules de limon et d'argile sont très fines et enrobées d'un fin film d'eau dont l'épaisseur détermine le caractère liant du sol.

Le sable est inerte et ses particules n'absorbent pas l'humidité, de sorte que lorsqu'on ajoute de l'eau à un sol, les films d'humidité entourant les particules d'argile deviennent plus épais, causant une dilatation et une plus grande plasticité du matériau. Si l'on mouille et si l'on sèche de façon alternée et répétée, il se produit une désagrégation progressive en surface, ou à l'endroit directement en contact avec l'eau.

Les progrès des techniques de stabilisation ont montré qu'on peut donner à un mur de composition convenable une résistance permanente à l'eau en incorporant certains produits à la terre dont il est formé. C'est ce procédé qu'on nomme couramment stabilisation des sols. On entendra donc par là tout procédé permettant de durcir le sol, de le rendre plus résistant à l'action de l'humidité, et relativement peu sujet à des variations de volume. La stabilisation des sols accroît parfois la résistance à la compression mais il est bon de se souvenir que c'est essentiellement un moyen d'augmenter sa résistance à la désagrégation. On peut en général appliquer les critères de mise en œuvre valables pour les sols non traités, à moins que des tests précis n'indiquent le contraire.

On a utilisé assez couramment, et avec plus ou moins de succès, les stabilisants suivants : ciment, chaux, goudron, et asphaltes émulsionnés. On a aussi utilisé moins couramment des produits plus ou moins prometteurs comme les émulsions de résine, les savons, les stéarates, les silicates de sodium et de potassium.

A quelques exceptions près, le prix élevé de ces produits en interdit l'usage actuellement. L'acrylate de calcium et la lignine de chrome semblent prometteurs, et des expériences montrent que dans certaines régions, leur coût est comparable à celui du ciment ou de l'asphalte. On pense qu'il est possible que ces produits réussissent là où d'autres échouent. Il est peut-être rentable de poursuivre des recherches dans ces voies. La bentonite en poudre, ou argile colloïdale, qui se dilate rapidement quand on la mouille, sera sans doute un moyen d'empêcher la pénétration de l'humidité en faisant gonfler les parties du mur les plus voisines de la surface. La lignine dont nous avons parlé plus haut, qui est le matériau de cémentation cellulosique des fibres de bois, et qui est un sous-produit de l'industrie du bois, constitue, semble-t-il, une barrière colloïdale analogue à la bentonite. Elle semble aussi cimenter les parties du sol.

On doit pouvoir utiliser avec succès la résine de Vinsol (un sous-produit de la distillation de la térébenthine), dans une solution de soude et en le mélangeant ou non à du ciment Portland.

D'une façon générale, si l'on utilise les agents stabilisateurs les plus connus, on peut considérer que les sols passant à travers un tamis n° 200 dans une proportion supérieure à 50 % (et contenant donc plus de 50 % d'argile et de limon) ne peuvent donner lieu à l'application des méthodes de stabilisation que nous allons indiquer. Cela signifie sans doute que ces sols ne possèdent pas de squelette interne de sable et de grosses particules

en contact ou enchevêtrées. Peut-être les limites de liquidité et l'indice de plasticité de ces sols sont-ils excessifs. Des recherches ont montré que l'on peut stabiliser même ces sols ; mais que ce n'est possible que si l'on a complètement analysé et compris le caractère physico-chimique de la surface interne du sol.

Nous avons signalé de nombreux exemples de construction en terre qui, bâtis il y a fort longtemps, font preuve d'une exceptionnelle résistance aux intempéries ; il en va de même pour certains sols utilisés actuellement. La première question qui vient à l'esprit est donc : faut-il stabiliser le sol considéré ? et dans l'affirmative, comment ? et, dans quelle proportion ? Les réponses à ces questions sont étroitement fonctions de la nature du sol et du climat au point d'utilisation. Bien que les techniciens du sol puissent et doivent prévoir le comportement d'un sol et recommander tel ou tel traitement, la méthode la plus sûre est de fabriquer des échantillons et de les essayer selon des tests bien connus de tous les techniciens.

#### **Tests simples de résistance aux intempéries.**

Pour le prospecteur et tous ceux qui conduisent des recherches préliminaires, on a imaginé des tests permettant de déterminer la résistance en présence d'humidité et d'indiquer ce qu'il faut adopter comme solution pratique.

On utilise en Afrique l'expérience suivante. On fabrique des échantillons contenant des proportions variables de stabilisant. Après séchage on soumet les échantillons alternativement à l'immersion dans l'eau pendant la nuit et au rayonnement du soleil pendant le jour. Si certains des échantillons s'effritent, se fissurent, se dilatent, éclatent ou s'écaillent, c'est que la quantité de stabilisant ne convient pas ; ou que le sol est de toute façon impropre à la construction, ce qu'on peut préciser par d'autres essais. Les échantillons faits en sols non stabilisés survivent rarement à la première immersion.

Une autre méthode consiste à soumettre les échantillons longuement séchés à un cycle de 12 heures au cours duquel ils sont mouillés, séchés et érodés.

Chaque cycle consiste à tremper l'échantillon pendant cinq heures, à le sécher pendant 42 heures, et à frotter légèrement la surface de chaque échantillon avec une brosse métallique. On étudie les variations de la perte en poids en fonction de la quantité de stabilisant employée.

Au cours d'expériences réalisées en Inde, on a soumis des échantillons au mouillage et au séchage. Le cycle consistait à plonger les échantillons dans de l'eau à température ambiante pendant 5 heures, à les chauffer à 71°C pendant 42 heures et à les laisser refroidir une heure. Après chaque cycle, on brossait les échantillons pour les débar-

rasser des particules désagrégées. On considérait les échantillons comme satisfaisants s'ils n'avaient pas perdu plus de 1 % de leur poids après 12 de ces cycles.

L'expérience suivante fut faite en Egypte sur des briques séchées au soleil, stabilisée ou non.

Une goutte d'eau tombait d'une hauteur de un mètre sur les échantillons, toutes les secondes, pendant 18 heures. Les briques stabilisées présentaient une trace légère de 3 mm de diamètre et 2 mm de profondeur, alors que celles qui ne l'étaient pas étaient transpercées d'un trou dont le diamètre faisait 4 à 5 centimètres.

Un test rapide consiste à fabriquer de petits disques de 5 cm de diamètre et de 1 cm d'épaisseur contenant des quantités variables de stabilisant. Quand ils sont séchés on les plonge dans l'eau froide pendant 6 heures. La composition à retenir est celle de l'échantillon contenant le moins de stabilisant parmi ceux qui ne s'amollissent et ne se décolorent pas.

Un essai d'arrosage qui est devenu plus ou moins classique a été discuté avec quelques détails dans l'introduction du chapitre III.

#### **Stabilisation de l'adobe.**

On la stabilise en général en lui incorporant du goudron, du bitume, du ciment Portland ou de la chaux. Parmi ces produits ce sont le bitume émulsionné et le goudron qui ont été le plus largement utilisés sans doute parce que l'adobe est humide et plastique, et que l'émulsion peut lui être incorporée facilement.

Pour qu'on puisse utiliser un sol pour en faire des briques d'adobe stabilisées au bitume, il faut qu'il ne contienne pas de sels alcalins (et bien entendu qu'il présente les autres propriétés nécessaires pour pouvoir faire de l'adobe). Il faut rejeter l'utilisation d'un sol ou d'une eau contenant plus de 0,2 % de tout sel soluble ou partiellement soluble : les briques ainsi construites s'effritent en général, et ce phénomène n'a pas le temps de se produire dans le temps assez court des tests que l'on peut effectuer.

Quand on utilise un stabilisant émulsionné, les globules de stabilisant sont « absorbés » sous forme de films par les particules d'argile. Quand le matériau est séché, il n'est plus hygroscopique, et sa cohésion le préserve de l'action de l'eau de pluie ou de l'humidité du sol. L'émulsion a rarement un résultat déplaisant en ce qui concerne l'aspect du mur ; si le rapport des colloïdes est convenable, la résistance à la compression peut se trouver augmentée.

Les produits asphaltés à utiliser en suspension dans des liquides, à température normale, sont :

- a) les composés à prise rapide (ciment de bitume et distillant très volatile); ils correspondent aux qualités RC<sub>1</sub>, RC<sub>2</sub>, RC<sub>3</sub>.
- b) les composés à prise moyennement rapide (ciment de bitume, et distillat moins volatile); ils correspondent aux qualités MC<sub>2</sub>, et MC<sub>3</sub>;
- c) les composés à prise lente (bitume émulsionné, constitué de ciment, d'asphalte, d'eau, et d'un agent d'émulsion). On l'applique à la construction d'adobe selon un procédé couvert par un brevet déposé aux U.S.A. par l'American Bitumuls and Asphalt Company. La quantité d'émulsion bitumineuse à utiliser dépend surtout de la quantité de limon fin et d'argile contenue dans le sol. On peut en général la déterminer expérimentalement. Une estimation grossière est donnée dans le tableau suivant qui suggère la quantité approximative de composés à prise lente à employer.

<b>Types de sols</b>	<b>Quantité d'émulsion bitumeuse à utiliser</b> (en % du poids des produits fins du sol)
Glaises sableuses	4 à 6 %
Argiles épaisses	7 à 12 %
Glaises argileuses	13 à 20 %

Ainsi, si l'on se base sur des additions dans la proportion 15 % du poids des particules fines du sol, il faut ajouter, à cent kilos de sol contenant 70 % de sable et 30 % de particules fines :

$$30 \times \frac{15}{100} = 4,5 \text{ kg.}$$

soit, deux litres d'émulsion. Le taux de 15 % serait d'ailleurs vraisemblablement trop fort pour ce sol particulier.

Les règles précédentes sont utiles quand on veut préparer des échantillons ou procéder à des estimations rapides; mais il faut se souvenir que la quantité de stabilisant à employer est une fonction croissante non seulement de la teneur en argile mais, de celle en produits colloïdaux. Il faut se rendre compte que les qualités hygroscopiques des particules fines varient d'un sol à l'autre, et que la nature du stabilisant est une variable supplémentaire.

On a utilisé des bitumes à type prise rapide pour stabiliser l'adobe. Les qualités RC<sub>1</sub> et RC<sub>2</sub> conviennent, encore que la viscosité de RC<sub>2</sub> soit plus forte et que son solvant s'évapore un peu plus lentement par temps frais. Des expériences récemment réalisées en Egypte ont montré qu'il y avait quelques difficultés à disperser les émulsions dans les sols convenablement détrempés servant à la fabrication des petites briques de boue séchées au soleil. Il serait peut-être intéressant et utile de réaliser des expériences avec les produits à prise moyennement rapide, et dans les conditions de travail réelles.

Du fuel lourd (Bunker C) que l'on utilise généralement comme combus-

tible a été également utilisé avec succès pour stabiliser l'adobe. Les expériences que l'on a faites avec le Diatol (un sous-produit spécial fait en Egypte en mélangeant de la terre à diatomées de l'eau et du mazout) semblent également pleines de promesses.

Bien que notre discussion se soit jusqu'ici limitée à l'emploi du bitume émulsionné et d'autres produits pétroliers pour stabiliser l'adobe, il convient de signaler que l'on a aussi utilisé le ciment et la chaux. Il faudrait d'ailleurs que des recherches soient poursuivies dans ces domaines, et que leurs résultats soient largement publiés. On rapporte que le ciment Portland a été utilisé de façon satisfaisante quand on le mélangeait sous une forme plastique à des sols contenant moins de 50 % de limon et d'argile. Les doses de ciment à utiliser sont, paraît-il, en volume, supérieures de 4 % à celles utilisées dans les mélanges sol-ciment d'humidité optimale que l'on emploie pour la fabrication du pisé et de blocs compactés.

L'adobe stabilisée se mélange comme l'adobe ordinaire. On peut mélanger le stabilisant et les additions d'eau nécessaires pour obtenir la plasticité désirée en piétinant, ou au moyen d'un sarcloir. Un malaxage énergique est absolument nécessaire. Aussi vaut-il mieux pouvoir utiliser un malaxeur mécanique si on cherche à obtenir de grandes quantités. Comme dans le cas de l'adobe non stabilisée, on peut utiliser des pétrins ne convenant plus à la boulangerie, et les malaxeurs à palettes utilisés pour la confection du mortier sont excellents. Pour des opérations de plus grande importance, on utilise souvent des malaxeurs à argile et des malaxeurs continus; si l'importance des opérations le justifie, on peut bien entendu produire des briques asphaltées à une échelle commerciale en utilisant une usine à briques à laquelle on fait subir quelques légères modifications. Quel que soit le procédé utilisé on doit réaliser une uniformité de mélange et une dispersion complète du produit stabilisant et de l'eau.

Il faut mouler les briques stabilisées très rapidement après que les additions aient été mélangées au sol. Même si elles ont été fabriquées très correctement, les briques peuvent être abimées par la pluie pendant les quelques jours suivant leur moulage; il faut donc les faire sécher assez longtemps pour que le produit stabilisant ne puisse plus être lessivé; cette remarque est particulièrement valable pour l'asphalte. Il faut donc faire sécher les briques pendant un mois (ou jusqu'à ce qu'elles atteignent un poids constant) avant de les utiliser. Le ciment Portland prenant et durcissant rapidement, même par temps humide, on en ajoute souvent une petite quantité à l'asphalte.

Quand on utilise le mélange plastique de sol et de ciment pour en faire des blocs, il faut le verser dans le moule en veillant à ce qu'il ait une consistance convenable, puis le remuer ou le vibrer jusqu'à ce que l'on soit sûr que toutes les bulles d'air ont été éliminées. Il faut cepen-

dant arrêter cette opération avant qu'une trop grande quantité d'eau ne vienne à la surface des blocs. Il faut laisser les blocs reposer en atmosphère humide avant de les faire sécher à l'air.

On utilise souvent les critères suivants pour vérifier les qualités des briques en adobe stabilisée.

*Aspect général* : Les briques achevées doivent être d'une taille régulière, avoir des faces parallèles, ne pas présenter de fissures ou autres défauts importants.

*La teneur en humidité* de la brique séchée et prête à être utilisée ne doit pas excéder 4 %.

*Les fissures de retrait* ne doivent pas avoir une largeur supérieure à 3 mm et une longueur supérieure à 8 cm ; en outre il ne doit pas y avoir plus de trois fissures par brique.

*La résistance à la compression* doit être au moins de 21 kg/cm<sup>2</sup>, on peut tolérer 18 kg/cm<sup>2</sup> pour une brique sur une série de cinq.

*L'absorption* doit être en une semaine de moins de 2,5 % du poids à sec.

*Erosion* : Les briques ne doivent pas être grêlées ou abimées après un arrosage de deux heures sous une pression de 1,4 kg/cm<sup>2</sup>.

*Le module de rupture* doit être en moyenne d'au moins 2,8 à 3,5 kg/cm<sup>2</sup> ; on peut tolérer 2,1 pour une brique sur cinq.

On recommande pour la pose des briques stabilisées l'emploi d'un mortier constitué du même mélange que les briques mais d'où l'on a pris soin d'enlever les morceaux les plus grossiers (ceux ne passant pas une maille de 3 mm). On peut également employer un mortier composé d'un sac de ciment Portland, de 75 à 90 litres de sable, de 6 litres d'un mélange peu hygroscopique tel que ceux qu'emploient les maçons et de suffisamment d'eau pour obtenir une consistance convenable.

On ne recommande pas d'utiliser du mortier à la chaux pour la pose des briques stabilisées au bitume : son emploi ne doit pas en principe affecter les briques bien séchées, mais c'est un risque à ne pas prendre. On a néanmoins utilisé avec succès un mortier au ciment et à la chaux. On le prépare en mélangeant un volume de ciment, un volume de chaux éteinte et six volumes de sable, et en ajoutant suffisamment d'eau propre pour obtenir la consistance désirée.

Si on utilise de la chaux vive, il faut d'abord l'éteindre. Des chaux vives d'origines diverses peuvent se comporter différemment quand on les met en contact avec de l'eau. Si le fabricant ne précise pas la méthode à employer pour éteindre la chaux, on peut la déterminer de la façon suivante. On met un peu de chaux vive dans un seau vide et on le recouvre d'eau. Si l'action commence en moins de cinq minutes on dira que la chaux « s'éteint rapidement », si elle ne commence que plus tard on dit qu'elle « s'éteint lentement ». Dans le premier cas il faut jeter la chaux dans le bac à mortier rempli d'eau ; dans le second on place la

chaux dans le bac, et on ajoute l'eau petit à petit pour accélérer la réaction.

### **Stabilisation du pisé et des blocs compactés.**

Nous avons vu dans la discussion des techniques de construction en pisé que le sable et le gravier employés en additions pouvaient permettre de faire un mur résistant aux intempéries avec un sol qui serait inutilisable autrement. Des spécialistes prétendent que parmi les sols typiques des U.S.A., on ne pourrait en utiliser plus de 10 % sans procéder à des additions de sable et de gravier.

Néanmoins, quand les conditions de climat sont sévères, il est préférable de mieux stabiliser le sol pour augmenter sa résistance aux agents atmosphériques. On a fait beaucoup de recherches dans cette direction. Des tests ont montré que le bitume en émulsion augmente cette résistance. Son emploi cependant est délicat car il faut l'ajouter au sol quand celui-ci est très mouillé, ce qui ensuite oblige à procéder à un séchage et à un broyage avant de pouvoir commencer la construction. Certaines personnes pensent que ce délai introduit avant la mise en œuvre annule, au moins en partie les propriétés stabilisantes de l'émulsion. Depuis très longtemps, on a mélangé de la terre à la chaux pour en faire un matériau de construction, mais utiliser le ciment avec de la terre était contraire aux idées généralement admises. Néanmoins, le ciment et la chaux sont très commodes pour stabiliser le pisé et les blocs compactés ; nous l'avons déjà mentionné dans cette brochure et discuté à propos d'une expérience dans l'utilisation des blocs compactés.

Ces méthodes sont adaptées aux sols contenant beaucoup de sable, car la surface de grains par unité de volume diminue si la proportion de matériau grossier augmente. Il faut utiliser davantage de chaux que de ciment. On procède de la même façon dans tous les cas, et des expériences limitées ont montré qu'un mélange de chaux (2 parties) et de ciment (1 partie) donnent de très bons résultats.

Quand on utilise du ciment Portland, la combinaison s'appelle un ciment-sol. On peut mélanger le sol, le ciment et l'eau d'un seul coup si l'on dispose d'un malaxeur à argile ou d'une bétonneuse. Sinon, les méthodes à utiliser pour la préparation et le mélange du sol sont analogues aux méthodes manuelles que nous avons indiquées pour le pisé ordinaire. Cependant, si on stabilise au ciment ou à la chaux par ces méthodes, il ne faut pas les ajouter au sol plus d'une heure avant l'utilisation.

Quand on mélange, il est important de le faire avec précision et de pouvoir contrôler les opérations. Une manière d'assurer l'utilisation en proportion correcte du sol et du ciment, même avec une main-d'œuvre très peu spécialisée, consiste à utiliser systématiquement les caisses doseuses. On place sur le sol une énorme caisse sans fond de 350 litres ; on la remplit

en égalisant la surface supérieure, puis on l'enlève en laissant sur l'aire de malaxage un tas de terre de volume connu. On étend ce tas de terre pour qu'il fasse une couche mince et on ajoute le ciment avec une petite boîte doseuse. On mélange alors jusqu'à ce que la couleur soit uniforme ; puis on ajoute l'eau.

On peut déterminer la quantité d'eau optimale par les méthodes générales dont nous avons parlé à propos du pisé ordinaire. Le pourcentage de ciment ou de chaux change avec la nature du sol, comme on pouvait s'y attendre. Une étude a été faite à Bogota par le gouvernement Colombien pour mesurer les facteurs qu'impliquent l'utilisation du ciment-sol dans des constructions simples en pisé ou en blocs compactés. La plupart des échantillons, qui contenaient des additions allant de 2 à 5 % de ciment (en poids), résistaient aux intempéries et supportaient pendant quatre



FIG. 10. — A Ho Hsiang, à Formose, on fabrique 700 blocs de ciment-sol par jour, avec une machine mue à la main.

semaines des pressions allant de 14 à 18 kg/cm<sup>2</sup>. Bien que le ciment et la chaux semblent les additions les plus commodes pour améliorer la stabilité d'un sol mis en œuvre sous forme de pisé ou de blocs compactés, on a fait des recherches avec d'autres produits. Parmi ceux-ci, signalons, entre ceux dont nous avons parlé : les cendres de charbon qui produisent le même effet que le sable, et qui, après l'érosion initiale, donnent une surface rugueuse propre à être recouverte d'un enduit de plâtre; le sel ordinaire qui donne des murs humides et qui s'effritent; et l'acide tanique dont l'effet semble assez neutre.

La résine de Vinsol dans une solution à 3 % de soude, offre certaines possibilités. On l'a utilisée dans des proportions allant de 0,5 à 3 % du poids du sol sec. Son emploi dans des proportions allant de 0,5 à 2,5 % et avec du ciment Portland, était très encourageant, à la fois du point de vue de la résistance aux intempéries et du point de vue de la résistance à la compression.

On a fait dans le cas du pisé comme dans le cas des blocs compactés, des expériences couronnées de succès au cours desquelles les surfaces exposées ont été « plaquées » avant tassage d'une fine couche contenant de la terre et du ciment dans une proportion de 1 à 5. Cette pratique demande beaucoup de temps dans le cas du pisé; le rythme de production des blocs, en revanche, est peu modifié, car il est facile de diviser le



Fig. 11. — Placage d'un bloc de terre au moyen d'un ciment-sol résistant aux intempéries. La paroi séparatrice est enlevée avant que le sol soit comprimé à la machine.

moule en deux, par une fine paroi que l'on retire avant de comprimer. Cette pratique a rencontré parfois quelques difficultés, mais d'une façon générale, la couche ainsi plaquée semble facilement faire corps avec le mur, ou le bloc, et son emploi semble pratique et plein de succès.

**Stabilisation des constructions en bousillage.**

Des expériences conduites en Afrique, ont montré que le ciment-sol était également utilisable pour améliorer la résistance des constructions « bousillées ». Le retrait, qui est le fléau de ce genre de construction, se concentre alors en quelques grandes fissures. Les quantités de ciment utilisées varient de 5 à 10 % du volume de terre. Il faudrait que les expériences soient poursuivies. Il semble également raisonnable de penser que l'introduction de substances bitumineuses dans ce mode de construction, devrait aboutir à des résultats analogues à ceux obtenus avec l'adobe.

## CHAPITRE V

### PLANCHERS EN TERRE

Des expériences ont prouvé que l'on pouvait utiliser de la terre stabilisée au ciment ou au goudron pour fabriquer des sols relativement solides et propres. Cet emploi est particulièrement intéressant pour les habitations à coût réduit, dans les pays sous-développés.

#### « Planchers » en ciment-sol.

Une terre vérifiant les tests que nous avons donnés lors de la stabilisation du pisé peut être utilisée pour faire des planchers en ciment-sol. Des expériences ont montré que les proportions entre les éléments constituants doivent être 75 % pour le sable et le gravier et 25 % pour le limon et l'argile. La teneur en eau doit être la même que la teneur optimale adoptée pour la mise en œuvre du pisé. Les méthodes de malaxage sont également les mêmes. Il faut conserver la terre suffisamment humide avant de s'en servir.

Les techniques à utiliser sont les mêmes que celles employées pour la construction de planchers en ciment. Il faut d'abord tasser ce qui servira de base et qui est utilisé tel que. Beaucoup de spécialistes estiment que le plancher doit avoir une épaisseur minimale de 8 cm et doit être composé de deux couches. La première que nous appellerons l'assise, doit être épaisse d'au moins cinq centimètres une fois tassée. Elle peut être faite avec le mélange de terre auquel on n'a pas encore incorporé l'agent stabilisant. A l'état meuble, elle doit avoir une épaisseur de 8 à 9 centimètres. On utilise normalement pour la tasser des pilons métalliques : un modèle courant présente une surface utile carrée (15 cm de côté) et pèse de 10 à 12 kg. On peut aussi adopter les appareils utilisés pour la mise en place du pisé. On peut enfin utiliser deux instruments : l'un d'une surface de (25 × 25) cm<sup>2</sup> et d'un poids de 8 à 10 kg, que l'on emploie à la fois pour faire un tassage préalable du matériau meuble, et pour achever et égaliser ; l'autre, d'une surface plus petite (10 × 10) cm<sup>2</sup> et pesant de 6 à 9 kg, pour tasser le matériau plus énergiquement. En général, on

tasse la terre deux fois avec le petit pilon et on termine avec le plus gros. Les appareils pneumatiques peuvent, bien entendu, être utilisés, mais il faut alors beaucoup d'habitude pour parvenir au degré de tassage désiré.

La couche supérieure est en ciment-sol. On ajoute le ciment au sol dans les proportions convenant pour le pisé. On a parfois trouvé satisfaisant d'adopter la combinaison : une partie de ciment pour 9 de sol. Il faut éviter d'utiliser des cailloux de dimension supérieure à 0,5 cm, car ils auraient une tendance à se détacher, laissant des trous qui pourraient amorcer la désagrégation.

En fait il n'y a guère de raison de laisser des cailloux dans l'assise ; on ne le fait que par commodité, pour éviter un tamisage. La couche supérieure, à l'état meuble a une épaisseur de 7 cm ; quand elle est tassée, cette épaisseur se réduit à quatre centimètres.

Comme dans la construction d'un plancher en ciment, on utilise des coffrages. Ceux-ci doivent être maintenus par des pieux solides pour pouvoir résister aux pressions considérables créées par le tassage. On utilise des planches aux arêtes bien droites et des gabarits pour mettre le matériau meuble en place, et pour vérifier l'épaisseur pendant le tassage.

Si le mélange de terre est composé d'un sol auquel on ajoute du sable et du gravier, le mélange peut être fait sur des planches ou sur un endroit du plancher qui a été déjà mis en place, et qui est sec depuis au moins une semaine. On peut utiliser une bétonneuse pour préparer le mélange dont on fait l'assise. Mais beaucoup de spécialistes disent que les ingrédients composant la couche supérieure doivent être mélangés à la main.

Une fois que le ciment a été ajouté au sol, et que le tout a été mélangé, il peut être nécessaire d'ajouter de l'eau pour obtenir la consistance correcte. Quand le ciment entre en contact avec la terre, il commence rapidement à prendre. Il faut préparer d'assez petites quantités à la fois. Si les coffrages ont un écartement de deux mètres, il suffit de préparer l'équivalent de 70 pelletées, ce qui correspond à la quantité que l'on peut tasser en une heure. Cette quantité permet de garnir une longueur de deux mètres. Quand on arrête le travail de la journée il faut utiliser un coffrage supplémentaire de façon à ce que tout le mélange puisse être tassé ; le travail reprend le lendemain à la jonction.

Il faut mouiller complètement la surface supérieure de l'assise avant de mettre la couche supérieure en place ; ce faisant, il faut veiller à ce que l'eau ne reste pas à la surface.

Quand le plancher est terminé, il faut le laisser sécher. Il convient de le maintenir humide pendant une période de 3 à 7 jours. On peut retarder le séchage en étendant sur le plancher de la paille ou des journaux.

#### **Planchers au bitume.**

On les met en place de la même façon que le ciment-sol. La seule différence entre les deux procédés réside dans la composition de la couche

supérieure qui contient du ciment dans le premier cas, et du bitume dans le second.

On peut se servir du même bitume pour toutes les opérations de construction de plancher. On peut recommander l'asphalte de pétrole fluxé, un produit assez analogue au « road oil » RC2. On a également utilisé le RC1, qui est plus léger. Les bitumes RC sèchent rapidement car ils contiennent des produits très volatiles.

Avant de mettre en place la couche supérieure, on passe sur la surface de l'assise une couche de bitume (6 litres pour 10 m<sup>2</sup>). On commence par le répandre par arrosage puis on l'étend avec une brosse fixée au bout d'un long manche.

On place alors le sol meuble de la même façon que précédemment. On asperge alors d'asphalte fluxé. On peut estimer que la quantité nécessaire correspond à 33 litres pour 10 m<sup>2</sup>. Comme le goudron est très épais, il vaut mieux le répandre avec un arrosoir qu'on peut jeter après usage. On peut pour cela utiliser de grandes boîtes en fer blanc dont le fond a été percé de trous au moyen d'un clou. Il faut arroser régulièrement en se plaçant sur une planche jetée au-dessus du plancher en construction. On couvre alors pour laisser sécher ; il ne faut pas essayer de tasser la terre avant que ce séchage ne soit complet. Il se forme sur le sol meuble une couche molle qu'il faut éviter de briser, car il serait difficile de la réparer. On la tasse une première fois légèrement au bout de 24 heures (ou quand l'opérateur peut marcher dessus). La terre, si elle est bien sèche, ne doit pas coller au pilon. On la tasse encore deux fois énergiquement, puis une dernière fois légèrement, pour rendre la surface lisse. Si l'on utilise deux tailles de pilon, il faut exécuter le second et le troisième tassage avec le plus petit pilon, la première et la quatrième opération étant effectuées avec le plus lourd.

On scelle alors au moyen d'une couche de bitume (5 litres pour 10 m<sup>2</sup>) que l'on répand par arrosage et brossage. Quand tout est sec, le plancher est prêt. On peut accélérer le séchage final en répandant un peu de sable sur la dernière surface posée. Il faut compter finalement 11 litres par 10 m<sup>2</sup> pour toute l'opération.

Si l'on ne dispose pas d'asphalte fluxé, on peut employer des « road oils » plus lourdes. Si le temps n'est pas suffisamment chaud, il peut falloir les réchauffer avant usage. Des bitumes plus lourds que MC3 seraient probablement difficiles à utiliser, même par temps très chaud. Si on utilise des bitumes lourds, il faut compter sur un temps de chauffage plus long.

On pourrait sans doute utiliser des bitumes émulsionnés analogues à ceux dont nous avons parlé à propos de la stabilisation des murs d'adobe ; mais nous n'avons pas connaissance d'expériences réalisées dans ce domaine.

Ces expériences seraient nécessaires pour déterminer la meilleure façon de mélanger l'émulsion à la terre et d'obtenir un mélange suffisamment sec pour le tassage.

**Autres agents stabilisants.**

On pourrait utiliser tous les produits employés en construction routière. On a autrefois utilisé la chaux.

## CHAPITRE VI

### LES TOITS EN TERRE

On a utilisé la terre pour construire des toits, et ceci depuis des temps très anciens. Ces toits se sont souvent comportés de façon satisfaisante. Il ne fait pas de doute que l'application à la construction des toits de ce que l'on a appris sur la stabilisation des murs, permettra d'obtenir des toits durant plus longtemps et demandant moins d'entretien. C'est un point à retenir en lisant les paragraphes qui vont suivre.

#### **Toits d'adobe ou de boue.**

Les Indiens du sud-ouest des U.S.A. ont une technique assez caractéristique pour construire les toits en terre : ils fabriquent des solives avec des perches reposant sur des blocs de bois (ou des poutres en ciment armé) posés eux-mêmes sur les murs en terre. Ces perches (vigas) soutiennent un plafond en bois constitué de planches ; on place sur ces planches une couche de 8 cm de terre sèche ou de cendre volcanique qui servent d'isolant. On empêche cette terre de filtrer en disposant sur les planches un papier du genre de ceux utilisés en construction. On tasse la terre jusqu'à ce qu'elle soit assez solide pour qu'on puisse marcher dessus. On place alors dessus une couche protectrice de feutre saturé que l'on étale contre les parapets assez bas qui sont fréquents dans ces constructions du sud-ouest.

Sur toute l'épaisseur des murs, les perches servant de solives sont enveloppées d'étoupe goudronnée et assises dans de l'asphalte, ou tout autre produit de calfatage. Si un retrait des murs se produit, on calfate immédiatement le vide créé autour des perches.

Par souci d'économie, on peut remplacer les planches par des « latillas » qui sont des perches de 3 à 5 cm de diamètre, que l'on peut ou non fendre et que l'on place en arêtes de poisson par rapport aux « vigas ». On remplace souvent la couche supérieure de feutre saturé par une couche de mortier de boue.

On signale la présence au Cap (Afrique) de maisons en terre dont les

toits de boue, vieux de cent ans, sont restés en très bon état. Les toits sont plats; on les fait en plaçant comme solives des perches de 10 à 14 cm d'épaisseur que l'on écarte à peu près de 40 cm et dont les extrémités dépassent le mur. Comme dans le cas précédent, on place des branches plus petites en travers des solives de façon à former une plateforme. On y place alors un mélange d'argile latéritique, de sable, et d'une très petite quantité de chaux éteinte. On tasse alors le mélange en donnant à sa surface une inclinaison suffisante pour l'écoulement des pluies. L'épaisseur de ce mélange de terre et de chaux varie donc de 45 cm (ou plus) à 20 cm.

#### **Toits en briques de boue.**

On a construit à Bahtim (Egypte), en 1934, un village de trente maisons ainsi qu'une mosquée, des écoles et des bains publics. Les bâtiments étaient construits en brique et les toits étaient en bois recouvert de briques séchées au soleil réunies par un mortier de boue. Toutes ces maisons étaient en excellent état 18 ans plus tard.

Un cas encore plus intéressant est le suivant. En 1936, un second ensemble de 20 maisons fut construit; les murs et les toits étaient construits en briques séchées. Ces maisons avaient une surface de 125 m<sup>2</sup> (deux pièces, une grande cour et une étable). Il est surtout intéressant de signaler que huit des maisons avaient des toits en forme de dôme (soit 16 dômes en tout). Les briques étaient protégées uniquement par une couche de mortier de boue. Ces dômes sont restés en excellente condition. Ils ont résisté aux chutes de pluie du Delta, ce qui parle certainement en leur faveur.

On a récemment construit des maisons analogues à Gourna, en Egypte. Des ouvriers spécialisés dans ce mode de construction purent apprendre assez rapidement aux artisans locaux à construire des dômes en briques séchées, et ceci sans coffrages. On a construit ainsi une soixantaine de maisons.

#### **Toits elliptiques en pisé.**

Il y a trois ans, on a bâti en Inde un bâtiment de forme semi-elliptique (deux pièces et une véranda); ce bâtiment est toujours en bon état. On le construisit en pisé en tassant la terre entre des planches soutenues par une armature métallique semi elliptique et pliante. On n'ajouta aucun stabilisant, et on se contenta d'appliquer sur la surface extérieure un enduit de boue à 5 % de ciment (épaisseur : 1,5 cm).

#### **Dôme expérimental sur une construction en bousillage stabilisé.**

Ce dôme fut construit en Afrique en 1944. Le toit fut un succès pendant sa vie assez courte qui s'acheva le jour où les murs s'écartèrent et firent se fissurer le dôme. On commença par bâtir une salle carrée

de 13 m<sup>2</sup>, avec des murs stabilisés de 30 cm d'épaisseur ; on plaça alors sur les murs une plateforme en bois sur laquelle on mit un tas de sable ayant la forme interne du dôme. On plaça alors au-dessus du sable, par la méthode utilisée pour les murs, un mélange à 5 parties de terre et une partie de ciment ; l'épaisseur minimale, au sommet, était de 13 cm. Au bout de trois semaines on perça un trou dans la plateforme pour faire écouler le sable. On enleva ensuite la plateforme.

Le toit resta en parfait état durant un mois pendant lequel la pluie tomba plusieurs fois mais ne put pénétrer dans le bâtiment. Au bout d'un mois, les murs commencèrent à se fissurer, et le dôme aussi. On le démolit, les murs furent réparés et on remplaça le dôme par un toit ordinaire.

## CHAPITRE VII

### FINITION DES MURS

#### **Introduction.**

Les murs de terre, pour avoir de la valeur, doivent pouvoir résister à l'humidité. Leur résistance provient de la nature même du sol, des additions stabilisantes, des revêtements protecteurs, et de la mise en œuvre elle-même (surplombs, vérandas, etc.). Nous allons consacrer ce chapitre aux revêtements protecteurs.

Les spécialistes diffèrent dans leurs opinions sur la nécessité d'utiliser des revêtements dans telle ou telle région, ou avec tel ou tel procédé de construction. Mais on peut comprendre cette diversité d'opinion si l'on considère les variables du problème.

D'une façon générale, une construction en bon pisé ordinaire doit pouvoir résister à l'érosion en climat modéré, si on l'a placée sur de bonnes fondations et si sa partie supérieure est protégée. Des sols de qualité moyenne sont très satisfaisants aussi, si on prend soin de les stabiliser.

En climat sec, les murs d'adobe ordinaire protégés par un surplomb du toit restent en très bonne condition s'ils ne sont pas soumis à une inondation. Néanmoins, dans des climats différents, on juge généralement nécessaire d'appliquer un revêtement. L'adobe stabilisée n'a pas, normalement, besoin d'être protégée.

Néanmoins, quels que soient le sol et la méthode utilisés, il y a tant de variables dans le problème qu'il est préférable de faire quelques tests pour savoir s'il y a lieu ou non de procéder à l'application d'un revêtement. Il est bon de signaler en passant qu'en dehors de l'effet néfaste qu'a l'humidité sur les propriétés structurelles de la terre, il se produit parfois des fuites aux joints de la construction. On peut également appliquer un revêtement pour diminuer l'usure normale du mur, ou pour des raisons purement esthétiques.

### Test de la pluie violente.

Dans beaucoup de régions, le facteur essentiel est l'imperméabilité du mur. Il semble qu'en règle générale, plus l'absorption en eau du matériau à la pose est faible, plus la perméabilité du mur est faible, toutes choses égales d'ailleurs. On a mis au point certains tests pour juger de la résistance d'un mur à la pénétration de l'humidité. Le test de la « Pluie violente », ou BMS 7\* est conduit de la façon suivante.

Le mur échantillon constitue une paroi d'une chambre pressurisée à 1,7 kg/cm<sup>2</sup>. On répand sur lui, au moyen d'un tube perforé, un flot d'eau (160 litres à l'heure), et ceci, pendant un jour. On observe :

- a) les moments d'apparition d'humidité et d'eau proprement dite sur l'autre côté du mur ;
- b) le taux maximum de fuite à travers le mur ;
- c) l'étendue de la zone d'humidité de l'autre côté du mur, après 24 heures.

On peut alors classer les murs comme suit :

*Bon* : Pas d'eau visible ; moins de 50 % de surface est humide ; pas de fuite.

*Moyen* : On voit de l'eau au bout d'un délai supérieur à 3 heures ; le flot de fuite est inférieur à 1 litre par heure.

*Mauvais* : L'eau apparaît moins de 3 heures après le début de l'expérience ; taux de fuite inférieur à 5 litres par heure.

*Très mauvais* : Taux supérieur à 5 litres par heure.

Les enduits protecteurs durent parfois longtemps ; mais le plus souvent, disent certains, ils donnent lieu à des réparations fréquentes et on doit éviter leur emploi. D'autres, en revanche, affirment qu'ils peuvent être très satisfaisants si on les fait avec soin. Tout le monde, en tout cas, convient qu'on ne saurait les appliquer sur un mur qui ne soit parfaitement séché.

Il est peut-être utile d'examiner les divers types de revêtements qui vont des stucs de ciment ou de chaux aux badigeons, en passant par les peintures à l'huile et les plâtres à la boue.

### Stucs au ciment.

Il ne faut sans doute les utiliser qu'avec un liant mécanique. Beaucoup de personnes croient qu'il est fondamentalement incorrect d'appliquer un revêtement robuste (ciment ou chaux) sur un matériau moins résistant (terre) : les différences de dilatation et de contraction produisent en effet des fissures, des fuites, etc. De toute façon, on applique

---

\* National Bureau of Standards, United States Department of Commerce, Washington 25 D.C.

en général les stucs sur un liant mécanique quelconque. Une méthode d'application très générale consiste à pratiquer des rainures de deux centimètres de profondeur dans la paroi ; on utilise pour cela un marteau, et on fait plusieurs rainures par briques (ou une rainure tous les vingt centimètres si la construction est du pisé). On y plante alors en biais des clous galvanisés que l'on réunit ensuite au moyen d'un grillage en fer galvanisé.

Une autre méthode, applicable seulement aux constructions en adobe ou en bousillage, consiste à placer un grillage léger (deux mètres de long, mailles de deux centimètres) sur le mur en construction et ceci à intervalles réguliers (par exemple tous les six rangs, si la construction est en brique d'adobe). On laisse pendre les extrémités des deux côtés et on les fixe au mur avec des crampons de 5 cm : ce grillage peut servir de base à un revêtement intérieur (plâtre) et extérieur (stuc). Pour un mur de 30 cm d'épaisseur bâti avec des briques de 10 cm d'épaisseur et un joint de mortier de 1 centimètre, les extrémités du grillage doivent recouvrir la bande précédemment posée de cinq à dix centimètres de chaque côté.

Par souci d'économie, on omet parfois d'utiliser le grillage, en se fiant uniquement aux rainures et aux clous pour assurer l'adhérence du revêtement. Dans ce cas-là on dispose les clous comme précédemment et on les enfonce jusqu'à ce que leur tête soit au niveau de la surface extérieure du mur. On peut aussi procéder comme suit : On balaye et on asperge la surface du mur ; puis on met en place la première couche de stuc en la lançant à la truelle ; immédiatement après, on enfonce des clous dans le mur, au travers de la couche fraîche de stuc. On laisse alors le mur sécher pendant une période de trois à dix jours avant d'appliquer une deuxième couche de stuc. On peut mettre une troisième couche, ou se borner à sabler la deuxième couche. Il vaut mieux ne pas appliquer des couches trop épaisses de stuc : les contraintes de dilatations sont ainsi plus faibles. Quel que soit le temps qu'il faisait quand on a mis le stuc, il faut garder les murs humides en les aspergeant, ou en les recouvrant de toiles de sac mouillées ; cela réduit la tendance du revêtement à se fissurer en rendant le séchage plus progressif.

Dans le sud-ouest des U.S.A., on prépare le stuc de ciment en mélangeant un volume de ciment à trois volumes de sable et en ajoutant environ cinq kilos de chaux éteinte à chaque sac de ciment utilisé. Le stuc de chaux que l'on emploie dans la même région est un mélange d'un volume de chaux et de trois volumes de sable.

Un rapport daté de 1926 examine l'état des bâtiments en pisé qui avaient été construits près de Sumter (Caroline du Sud) entre 1820 et 1854. Ce rapport dit, en parlant du stuc d'une église construite en 1850 :

« Le stuc est fait d'un mortier de chaux recouvert d'une couche de sable grossier ; son épaisseur variait de 3 mm à 2 cm. La couleur origi-

nelle était rouge, mais le stuc fut plus tard passé à la chaux. Ce badigeon fut lui-même récemment recouvert d'une préparation hydrofuge de couleur crème.

« Les observations faites indiquent que les fissures constatées dans le stuc correspondent à des fissures ou des défauts du mur sous-jacent ; en effet, là où le mur est solide, le stuc est solide et conserve apparemment ses qualités initiales... Le stuc ne s'est jamais détaché sans qu'il y ait auparavant apparition de fissures. »

Les quatre cents maisons de pisé dont nous avons déjà parlé et qui furent construites en Inde dans le cadre d'un programme de secours, furent protégées avec un stuc au ciment Portland qui, quatre ans plus tard, était en très bon état. Ce stuc était composé d'un mélange de sable et de ciment (dans la proportion de 1 à 15) appliqué sur un badigeon de ciment (une partie de ciment pour trois d'eau). On essaya de se passer de ce badigeon, mais les résultats ne furent pas satisfaisants. Il fut démontré qu'un stuc épais de 1,8 cm, appliqué sur le badigeon, et placé entre deux blocs, avait une résistance à la rupture de 0,85 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **Plâtre à la boue (Dagga).**

Ce produit est un plâtre à la boue que l'on a utilisé comme revêtement de murs depuis des siècles. Il peut durer indéfiniment si le climat est sec, ou si l'on a protégé les murs des pluies violentes et des chocs. On peut lui donner des couleurs vives en utilisant des argiles colorées.

Dans le sud-ouest des Etats-Unis, on emploie un plâtre qui contient juste assez de sable fin pour sécher sans craqueler. On passe le sable et l'argile au tamis n° 12 (ou à travers une simple toile métallique de garde-manger). Le volume de sable est à peu près trois fois celui de l'argile : comme toute argile contient déjà pas mal de sable, on peut souvent se borner à mélanger deux volumes de sable à un volume d'argile sableuse.

Si l'on ignore les proportions à utiliser, on peut faire des essais de mélanges que l'on applique au mur à protéger. S'il n'y a pas de craquelures au bout de deux à quatre jours, et si l'adhérence est bonne, il est probable que le mélange convient.

On a essayé d'améliorer ce matériau de revêtement pour tirer parti de sa caractéristique la plus intéressante, la similarité de sa composition avec celle du matériau du mur. Une première méthode consiste à stabiliser par une addition de bitume en émulsion ; une deuxième consiste à ajouter du ciment Portland (parfois de la chaux). Il suffit d'ajouter 2 à 4 litres d'émulsion pour 50 kg de sol sec et de mélanger le tout avec de l'eau. On peut évidemment déterminer les proportions exactes en essayant des mélanges et en examinant leur comportement (fissuration, adhérence, etc.). Aux Indes un plâtre de ce type a résisté au traitement suivant.

On fit tomber de l'eau en pluie sur les échantillons placés quatre

mètres plus bas ; l'expérience dura six jours après lesquels on soumit les échantillons à des séchages et mouillages alternés, et ceci pendant cinquante jours. On ne constata aucune diminution de l'adhérence initiale et aucune pénétration d'humidité.

Quand on utilise du ciment, il semble indiqué d'adopter un rapport de volume ciment-sol de l'ordre de 1 à 10. On utilise en Afrique un sol ayant une grande stabilité propre, avec du sable et très peu de chaux et de ciment ; ce mélange s'appelle le « plâtre hollandais ». On ne met jamais plus d'un huitième de volume de chaux ; si la chaux n'est pas de bonne qualité, on ajoute du ciment ( $\frac{1}{3}$  du volume de la chaux).

Bien que ces plâtres soient parfois liés mécaniquement, comme on l'a vu plus haut, on les applique plus souvent directement, et en deux couches minces. Il faut mouiller le mur avant le revêtement, et laisser le plâtre humide pendant qu'il prend et sèche progressivement.

#### **Peintures murales.**

On désire parfois améliorer l'aspect des murs des constructions en terre, en particulier quand elles sont faites en adobe. On peut pour cela leur faire subir un traitement très simple qui consiste à appliquer une légère couche d'un sol très fluide. La nature de ce sol doit être la même que celle du matériau de construction ; on peut étendre cette « peinture » avec un linge mouillé. On réussit ainsi à égaliser la surface des murs.

#### **Peintures murales**

La peinture n'est pas considérée comme un moyen permettant de donner aux murs de terre un « fini » durable ; mais elle permet d'assurer une protection temporaire, et d'améliorer l'aspect de la construction.

On peut traiter des murs non stabilisés avec des matériaux imperméables tel que l'huile de lin bouillie, ou l'huile de Thung. On peut aussi appliquer du silicate de sodium ou de la parafine dissoute dans de la benzine que l'on étale à une température de 21°C. Enfin, on a utilisé les produits communément employés par les maçons.

On peut fabriquer un enduit blanc peu coûteux de la façon suivante. On mélange 2,5 kg de colle à la caséine à 8 litres d'eau bouillante d'une part, et 1,5 kg de triphosphate de sodium à 12 litres d'eau d'autre part. On mélange ensuite les deux solutions et on leur ajoute un lait de chaux obtenu en mélangeant 25 kg de chaux éteinte et 32 litres d'eau. Juste avant de se servir du badigeon, on lui ajoute une solution de formaldéhyde (1,5 litres dans 12 litres d'eau). On peut colorer la solution en y ajoutant un pigment en poudre. Il vaut mieux peindre à l'ombre, ou par temps nuageux. Si le temps est sec, il convient de commencer par asperger le mur d'eau.

On utilise également des badigeons de ciment. On commence par

brosser le mur ; puis on lui applique une première couche composée de ciment blanc et d'eau (un sac pour 24 litres). On laisse cette couche « prendre » pendant 5 ou 6 jours, et on la recouvre alors d'une bonne peinture à l'huile, ou d'une seconde couche du même badigeon, que l'on colore éventuellement.

En Rhodésie du Sud on a recouvert des surfaces de pisé avec une émulsion bitumineuse que l'on « sable » pendant qu'elle est encore collante. Ce sable peut être passé au badigeon de ciment.

Pour l'application des peintures à l'huile sur les surfaces de terre stabilisées au bitume, on a recommandé d'appliquer une couche de peinture d'aluminium à base de bitume. Il y a compatibilité entre cette base et l'émulsion du mur. Les paillettes d'aluminium se déposent en se recouvrant, ce qui évite une exudation du bitume du mur. On pense que la surface ainsi obtenue doit convenir à l'application ultérieure de peinture à l'huile.

Quel que soit le genre du produit considéré, il est bon de se souvenir que les propriétés du « fini » sont conditionnées par celles du mur et par celles de l'enduit. Le seul test vraiment sûr est évidemment le temps, mais on peut quand même s'aider de certaines expériences de laboratoire. On peut par exemple préparer des échantillons, les recouvrir des divers produits de revêtement et les plonger dans l'eau. Le critère est évidemment le temps pendant lequel un échantillon résiste à l'action de l'eau.

Il est une plante sauvage assez commune dans les pays tropicaux. Son nom est *Euphorbia lactea*. C'est une sorte de caoutchouc et on peut s'en servir pour revêtir les murs d'une couche dure, élastique et blanche, qui, paraît-il, est un excellent protecteur contre les orages tropicaux. On hache la plante dans un récipient ; elle exude un liquide blanc que l'on projette contre les murs après lui avoir éventuellement incorporé de la chaux.

On utilise aussi en Afrique du Sud un cactus de la famille des *Opuntia*, ou des feuilles d'agave. Il faut faire attention en les manipulant car on signale qu'ils sont toxiques.

### **Finitions intérieures.**

Les revêtements intérieurs ne sont pas aussi importants que les enduits extérieurs qui sont souvent nécessaires. Les enduits intérieurs sont de nature très diverses : peinture à l'eau, à l'huile, plâtre commercial, lait de chaux, etc.

Si les murs sont en pisé, on peut leur appliquer directement la peinture, ou commencer par un plâtre de boue, comme nous l'avons dit plus haut. Si la couleur de ce plâtre est satisfaisante, on peut d'ailleurs le laisser tel quel en se bornant à passer une colle imperméable qui empêche

la formation de poussière à partir des murs. On peut faire cette colle de six parties de fromage blanc, et d'une de chaux vive en ajoutant l'eau nécessaire pour rendre le mélange fluide.

#### **Pouzzolane.**

La pouzzolane est un produit qui n'a rien d'un ciment, mais qui contient suffisamment de silice pour se combiner à la chaux et donner un composé analogue au ciment Portland. Elle est très commode pour la finition des toits maçonnés (plats ou en voûte).

Les pouzzolanes présentent l'avantage de ne pas développer des contraintes intérieures aussi fortes que celles des ciments.

#### **Résultats d'expériences sur l'utilisation des peintures.**

Une étude a été faite des produits utilisés pour la finition des murs stabilisés au bitume. (*Ideas and Methods Exchange*, n° 14, mars 1954) \*. Il en ressort que les produits appliqués au pinceau, tels que lait de chaux, peinture à la détrempe, émulsions bitumineuses, acétate de polyvinyle, et émulsions au styrène sont très perméables à l'eau, mais résistent bien à l'exudation du bitume (à l'exception des peintures à la détrempe et des émulsions d'adhyde). Les produits poreux tels que les badigeons au ciment sont satisfaisants des deux points de vue ; les peintures à l'huile résistent à l'eau, mais empêchent mal l'exudation. Les peintures au bitume sont évidemment satisfaisantes des deux points de vue.

---

\* Housing and Home Finance Agency, Washington 25 D.C., U.S.A.

## CHAPITRE VIII

### LA MISE EN ŒUVRE DES MAISONS DE TERRE

Un des grands avantages présentés par la terre dans ses utilisations en construction réside dans le nombre des méthodes d'emploi, qui est tel que presque n'importe quel sol peut être considéré comme un matériau de construction. Mais cet avantage devient presque un inconvénient pour le constructeur qui doit traiter comme s'ils étaient différents des produits qui ne sont en fait que de la terre.

#### **Propriétés communes aux sols.**

Il n'y a que quelques propriétés fondamentales communes aux différentes terres de construction. On sait par exemple, d'après les tests faits par le National Bureau of Standards (U.S.A. Department of Commerce) \*, que la conductibilité thermique de l'adobe naturelle, celle de l'adobe stabilisée au bitume, et celle des murs en pisé sont de l'ordre de celles du sable et du gravier. On peut s'attendre à ce qu'il en soit de même pour les blocs compactés.

Le poids dépend évidemment de la nature du sol, mais on peut s'attendre pour l'adobe ou pour le pisé à des densités de l'ordre de 2,3 à 1,6 kg/dm<sup>3</sup>.

Les caractéristiques de résistance habituellement recherchées pour les constructions en terre sont de l'ordre de 21 kg/cm<sup>2</sup> à la compression et de 3,5 kg/cm<sup>2</sup> à la traction, ou au cisaillement. Bien que les caractéristiques varient d'un sol à l'autre, il est évident qu'elles sont toujours inférieures à celles du béton.

Pour la construction des murs de terre on conseille d'adopter un « coefficient de sécurité » allant de 6 à 10, qui permet de réduire fortement les efforts de tension et de cisailage. Il est alors nécessaire de construire des murs très épais ou de les renforcer. Beaucoup de spécialistes recommandent de limiter les constructions en terre non stabilisée à un rez-de-chaussée, et de construire des murs dont l'épaisseur soit 1/8 à 1/10

---

\* B.M.S. 78.

de la hauteur. Il faut cependant signaler que l'on a construit des bâtiments lourds à un étage dans le sud-ouest des U.S.A., et que l'on a pu construire assez souvent des murs relativement peu épais en utilisant des blocs compactés.

Il est bon de se souvenir également que, toutes choses étant égales d'ailleurs, la qualité et la solidité du pisé monolithique ou de la terre compactée en blocs dépendent moins du temps qu'il fait pendant la période de séchage que, par exemple, dans le cas de l'adobe.

La terre est économiquement intéressante dans les régions où la main-d'œuvre est bon marché, et où les autres matériaux de construction sont chers. Il faut environ pour 30 dm<sup>3</sup> de mur : 1/4 d'heure de travail dans le cas de l'adobe ; 3/8 d'heure de travail dans le cas du pisé ; 1/2 heure dans celui des briques d'adobe ; et 1/2 heure pour les blocs compactés à la machine à main.

#### **Considérations de mise en œuvre.**

Quand le constructeur considère des cas particuliers, il doit décider de la méthode de construction, du revêtement protecteur, du stabilisant, etc. Pour prendre les meilleures décisions, il utilise le résultat d'expériences faites sur le terrain et en laboratoire, et il tient compte de ce qu'il sait, des besoins locaux, des habitudes, des coûts, et des conditions climatiques.

Dans une région sèche ou semi-aride, il peut par exemple décider que c'est l'adobe naturelle qui s'impose de point de vue pratique. D'autres conditions climatiques peuvent l'amener à stabiliser le sol, si cette solution est viable économiquement. S'il n'est pas sûr de disposer d'une période suffisamment sèche pour faire des briques d'adobe, il vaudra peut-être mieux se tourner vers le pisé ou les blocs compactés, avec ou sans revêtement. Si on a déjà utilisé la terre d'une certaine façon, il peut décider d'adopter la même solution et chercher à obtenir les résultats qu'il s'est fixé par une meilleure technique. Il se peut par exemple que le bousillage, l'adobe, ou le clayonnage-garnissage offrent les seules possibilités d'amélioration rapide des abris.

Quand la décision est prise, il prépare un plan plus précis, en fonction des données techniques. Il s'intéresse alors à la résistance à la compression, à la résistance à la rupture, à l'absorption, à la teneur en eau, à la résistance à l'érosion ; ces renseignements lui sont en général, communiqués par un laboratoire travaillant selon des méthodes connues. S'il décide de se débrouiller tout seul, il se fie seulement à des expériences faites sur le terrain.

#### **Pratiques générales de construction.**

Une construction en terre doit être située dans un endroit bien drainé et peu sujet aux inondations. Il est bon de plaquer une maçonnerie

résistante sur le revêtement final jusqu'à niveau permettant d'éviter l'érosion due à l'éclaboussement de l'eau de pluie et de réduire la capillarité. On peut parfois pour cela employer de la terre stabilisée. Il faut toujours mettre un matériau imperméable dans le mur, au-dessous du niveau du plancher, de façon à empêcher l'humidité de monter par capillarité. Faut de mieux, on peut utiliser dans ce but de l'ardoise, ou tout autre matériau dense disponible localement. Il est essentiel de prévoir des fondations importantes, tenant compte de la charge que le sol peut supporter par unité de surface.

Dans les constructions en terre monolithes, l'importance du retrait varie avec l'humidité que le sol contenait lors de sa mise en place. Mais de toute façon il semble que des fissures verticales régulièrement espacées apparaissent fréquemment dans les constructions monolithes. On peut éviter cela en ménageant des joints verticaux ; certains spécialistes recommandent qu'on ménage ainsi un joint vertical dans toute la longueur de mur supérieure à 2,5 m. Il est bon d'arrondir les angles externes de la construction pour réduire leur fragilité aux chocs.

Le retrait vertical ressemble à un tassement et se produit à un taux de 2,5 cm pour un mur de trois mètres dans la plupart des constructions en terre. Dans le cas du pisé, ce tassement est dû probablement au tassement du mortier. Aussi s'arrange-t-on en général pour laisser un intervalle entre le haut des cadres de portes et de fenêtres, et le linteau : lors du tassement, le rapprochement se fait sans inconvénients.

Pour fixer des sablières sur le haut d'un mur solide, on peut percer des trous dans le haut du mur, y placer des boulons tête en bas, en ayant soin de laisser dépasser une longueur convenable, et enfin jointoyer les têtes de boulons avec du mortier. Il est aussi recommandé de placer à ce moment-là une couche de ciment sur le haut du mur, ce qui assure une protection supplémentaire contre l'humidité. Dans les constructions ne comportant qu'un rez-de-chaussée, il vaut mieux ne pas continuer le mur de terre au-dessus des ouvertures, si du moins on peut l'éviter.

Même dans les meilleures conditions, la longueur d'un mur ne doit pas excéder 7,5 mètres, à moins qu'on utilise des contreforts. Il semble également courant de limiter à 35 % la longueur de mur consacrée aux ouvertures, et d'espacer d'un mètre deux ouvertures consécutives, ou une ouverture et l'angle qui en est le plus proche. S'il y a des linteaux, ils doivent reposer sur le mur sur une longueur d'au moins 25 centimètres, de chaque côté. Les embrasures doivent être disposées de façon à ce que l'épaisseur du mur non entaillée par ces embrasures soit d'au moins 25 centimètres.

Un procédé se prêtant mal à toute généralisation, est celui où l'on utilise des petits blocs compactés (25 cm d'épaisseur) et que l'on pose sans mortier. Il faut éviter dans ce cas-là les charges excentrées, et limiter convenablement la longueur et l'élancement des murs.

Il semble que certaines habitudes aient été prises pour les constructions en terre. Dans les régions sèches ou semi-arides, on a adopté les parapets. Il faut qu'ils soient bien construits, que la partie supérieure soit protégée, et il faut prendre soin que l'eau de pluie puisse tomber loin des murs. Dans les pays moins arides, on protège parfois les terres non stabilisées en faisant surplomber le toit.

**Construction dans les régions sujettes aux tremblements de terre.**

A priori, l'utilisation de terre dans de telles conditions n'est pas recommandée, si on peut l'éviter. Cependant, selon certains spécialistes, un sol bien « lié » peut subir des secousses sismiques modérées si la construction est basse, massive et régulière. Les murs dans ce cas ne doivent pas avoir un élancement supérieur à 8. Les fondations doivent être massives, et il faut placer une poutre continue en béton armé en haut du mur et y fixer les sablières. Il faut que les plafonds et les toits soient légers, et que les solives ou chevrons soient placés sur les sablières de façon à éviter un chargement excentré. Les plafonds et le toit doivent être ancrés aux murs et construits de façon à pouvoir résister à la déformation.

## APPENDICE A

### GLOSSAIRE

- Adobe** : On appelle ainsi tout sol argileux qui, mélangé à de l'eau jusqu'à devenir plastique, peut être incorporé dans une structure (avec addition éventuelle d'un liant mécanique). Par extension, une structure faite d'une telle argile.
- Adobe coulée** : Mélange d'argile de sol et d'eau assez mou pour pouvoir être coulé dans un coffrage où on le laisse sécher. On peut effectuer la coulée d'un seul coup (pour toute la hauteur du mur) ou en plusieurs fois en déplaçant verticalement le coffrage. On met souvent des cailloux dans la terre.
- Adobe monolithe** : On utilise souvent ce terme pour désigner le bousillage. Parfois on désigne ainsi l'adobe coulée.
- Azaras** : Troncs de palmiers fendus que l'on emploie pour renforcer les constructions de planchers ou de toits (plats ou courbes) dans les régions arides d'Afrique occidentale. Les azaras ont à peu près 2,5 mètres de long.
- Bauge** : Mélange d'argile et de paille que l'on utilise pour construire des murs de terre au moyen de coffrages.
- Béton de boue** : Voir « adobe coulée ».
- Blocs compacté à la machine** : Unités de construction obtenues par compression de terre au moyen de machines motorisées ou non ; les pressions utilisées pour cela vont de 70 à 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- Bousillage** (Pisé anglais) : C'est un mélange assez épais de sol argileux, d'eau et d'un peu de paille qu'on utilise de la façon suivante pour faire des murs : on l'applique par couches successives, et sans coffrage ; puis on égalise les parois au fur et à mesure. On a parfois utilisé de la même façon un mélange d'eau et de craie écrasée.
- Cajon** (Espagnol) : C'est un type de construction en terre où on utilise un mélange de sol argileux de consistance appropriée pour faire des pans de murs que soutiennent une armature de bois.
- Clayonnage-garnissage** : Méthode consistant à enduire de terre plastique une armature de bois préalablement garnie d'un clayonnage ; on poursuit l'opération jusqu'à ce que toutes les fissures soient remplies.
- Consistance plastique** : Teneur en eau à partir de laquelle un mélange « coule » quand on le malaxe.
- Consistance standard** : Mélange ayant la teneur en eau optimale. Un ciment ayant cette consistance est humide dans la main et conserve la forme qu'on lui donne en le manipulant.
- Dagga** : Un mélange d'argile et de sable utilisé comme mortier pour la pose des blocs de terre compactés et comme plâtre pour protéger les murs. On lui ajoute souvent des agents stabilisants.
- Densité maximale** : Teneur en eau optimale.
- Garnissage** : Un revêtement grossier de mortier d'argile, appliqué à la truelle ou à la main des deux côtés d'une armature de lattes, pour faire des murs minces.
- Indice de plasticité** : Différence entre limites de liquidité et de plasticité.

- Hourdage** : Maçonnerie grossière en terre, briques, ou béton destinée à remplir les vides d'une armature en bois.
- Latérites** : Ce sont des argiles éoliennes formées dans des climats tropicaux par la désagrégation de roches ignées, ordinairement basiques. Ce sont surtout, en général, des hydroxydes de fer et d'aluminium.
- Limite de liquidité** : Teneur en eau pour laquelle un sol passe de l'état plastique à l'état liquide (% en poids de sol sec).
- Limite de plasticité** : Teneur en eau pour laquelle le sol passe de l'état solide à l'état plastique (elle s'exprime en % du poids du sol sec).
- Limite de retrait** : C'est la teneur en humidité au-dessous de laquelle un changement dans cette teneur en humidité n'affecte plus le volume du sol.
- Maisons en mottes de terre (Soddys)** : Maisons dont les murs et éventuellement les toits, sont construits avec des blocs de tapis végétal ; on place en général vers le bas le côté herbeux. Ce genre de construction fut très utilisé lors du développement des grandes plaines, aux U.S.A.
- Pisé** : Mélange d'argile sableuse et d'eau, de consistance légèrement molle, ce qui permet de le damer dans des coffrages pour faire des murs, ou dans des moules pour faire des blocs. Le damage peut être fait ou non à la main.
- Placage** : Technique permettant de combiner la terre stabilisée à la terre ordinaire en plaçant une mince couche de terre stabilisée au ciment sur la face extérieure du mur compacté en sol ordinaire. On peut utiliser une technique analogue dans la fabrication des blocs.
- Plâtre hollandais** : C'est un mélange analogue au Dagga, que l'on utilise en Afrique, et qui est fait d'un sol stable, de sable, et souvent d'un peu de chaux ou de ciment.
- Pouzzolane** : Un mélange, qui bien qu'il ne soit pas un ciment, se combine avec la chaux pour donner un produit analogue à un ciment.
- Relation humidité-densité** : On l'utilise pour déterminer le pourcentage d'humidité pour lequel un sol présente la densité maximale, pour un effort de compression donné.
- Swish** : Terre utilisée en Côte de l'Or et qui désigne en général la latérite ; d'où l'expression « swisherete » pour désigner un mélange de latérite et de ciment.
- Tapia** : Sorte d'adobe, utilisée en Afrique et à la Trinité, et qui utilise comme liant mécanique les fibres d'une herbe appelée Sporobocus Indicus.
- Teneur en eau optimale (densité maximale)** : La densité d'un mélange de sol et de ciment soumis à une pression constante varie avec sa teneur en eau. Si l'on trace le graphique montrant les variations de la densité en fonction de la teneur en humidité, on obtient en général une courbe parabolique dont le sommet correspond à la teneur optimale et à la densité maximale.
- Teroni** : Construction analogue à la brique d'adobe et aux « Soddys » : des blocs de tapis végétal sont enlevés au sol, séchés au soleil, et utilisés pour construire des murs. (Une église ainsi construite en 1621 à Albuquerque, Nouveau Mexique, est encore en fort bon état.)
- Terracrete** : Mélange de terre et de ciment Portland.
- Terre stabilisée** : Mélange d'argile sableuse, d'eau, et d'une quantité limitée d'agents stabilisants destinés à accroître la résistance du matériau à la compression et à l'humidité. Les agents communément employés sont le sable, la chaux, le ciment Portland, et les émulsions de bitume. La terre stabilisée est utilisée pour faire des murs, des briques ou des blocs : elle est également très utilisée dans la construction routière.
- Torchis** : Mélange de sol argileux et de poils de vache, utilisé en « garnissage ».
- Tubali** : Terme Ouest Africain désignant des briques piriformes faites à la main à partir d'un mélange de sol argileux, d'eau et de brins d'herbe fraîche ou sèche. Les tubalis sont placés sur trois ou quatre rangs, leur partie renflée étant assise dans du mortier ; la couche suivante est placée de façon à ce que les parties renflées viennent s'encaster dans les pointes inférieures.
- Vigas** : Perches utilisées comme solives dans les constructions en terre.

## APPENDICE B

### BIBLIOGRAPHIE SUR LES CONSTRUCTIONS EN TERRE

- « Adhesion of Plaster, Stucco, and Mortar to Various Structural Backings ». *Bulletin N° 68*, Engineering Experiment Station, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Va.
- Adobe. George W. Ramirez, Alhambra, Calif., 1946. 40 pp.
- « Adobe Architecture - Its Design and Construction ». W. E. Groben. U. S. Forest Service, Department of Agriculture, Washington 25, D. C., *Pub. M-5 123*, 1941.
- † Adobe as a Building Material for the Plains ». Colorado Agricultural Experimental Station, Fort Collins, Colo., *Bulletin 174*, 1910.
- « Adobe as a Construction Material in Texas ». E. L. Harrington. Texas Engineering Experiment Station, College Station, Texas, *Bulletin N° 90*, 1945.
- « Adobe as a Historical Source ». *Agricultural History*, Chicago, Ill., juillet 1931.
- Adobe Brick Construction. Morris M. Sparks. U. S. Office of Technical Services, Washington 25, D. C., décembre 1951. 13 pp. Bibliography on pp. 9-13. (PB 105 844).
- Adobe Brick Stabilized with Asphalt ». *Construction Methods*, New York, pp. 98-100, avril 1948.
- « Adobe Brick Stabilized with Asphalt ». *Engineering News Record*, New York, pp. 132-133, 22 janvier 1948.
- « Adobe Construction ». J. D. Long. University of California, Berkeley, Calif., *Bulletin 472*, Revised 1946. Distribué par Agricultural Extension Service, College of Agriculture, University of California, Berkeley, Calif.
- « Adobe Construction ». Harold C. Schwalen. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., pp. 387-389, septembre 1936.
- « Adobe Construction Branch Libraries - Kern Country Free Library, Bakersfield, California ». D. Knief. *Library Journal*, New York, pp. 100-101, 1<sup>er</sup> février 1939. Illus.
- « Adobe Has Its Place, Too ». C. A. Popkin. *Nation's Schools*, Chicago, Ill., pp. 33 et 39-40, septembre 1944.
- † Adobe House ». John W. Byers, *Architect and Engineer*, San Francisco, Calif., pp. 12-25, octobre 1946.
- † Adobe House ». A. H. Verrill. *Country Life*, Vernon, B. C., pp. 71-72, octobre 1927. Illus.
- « Adobe House Around a Patio in Los Altos, California - P. L. Bernhard Home ». *American Home*, New York, p. 28, août 1940. Illus.
- † Adobe House Electrical ». E. E. Whitehorne. *House Beautiful*, New York, pp. 60-62, janvier 1922. Illus., plans.
- « Adobe or Sun - Dried Brick for Farm Buildings ». *Farmers' Bulletin N° 1720* U. S. Department of Agriculture, Washington 25, D. C., 1934.
- « Adobe Renaissance ». R. F. Welch. *Christian Science Monitor Magazine*, Boston, Mass., p. 4, 24 juillet 1948.
- The Adobe Sweetpotato Storage House in Arizona*. F. J. Crider and D. W. Albert. University of Arizona, Tucson, Ariz. Distribué par Arizona Agricultural Experimental station, Tucson, Arizona.

- « Aided Self - Help in Housing Improvement », *Ideas and Methods Exchange N° 18*, International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C. Nouvelle édition, janvier 1955.
- « Ancient Adobe Restored - Winter Home of S. C. Hamilton, Santa Fe », L. L. Cassidy. *Sunset*, Menlo Park, Calif. pp. 54-55, septembre 1928. Illus.
- « Application of Soil Cement to Low - Cost House and Farm Construction », (N°. SCB-13). Distribué par Portland Cement Association, 33 Grand Avenue, Chicago, Ill.
- The Application of Soil Stabilization to Low - Cost Housing*. Chas. Biggs and Humbert Causing. Princeton, N. J., 133 pp. (MS thesis in Engineering, Princeton University). Bibliographie, pp. 129-133.
- « Arizona Adobe House with the Old Mesa Spirit - Home of B. J. O. Norfeldt, Santa Fe », *Arts & Decoration*, New York, p. 72, juillet 1927.
- « Arts and Uses of Adobe », T. Conner. *House Beautiful*, New York, pp. 78-79, janvier 1922. Illus.
- « Artist Turned Architect - Millard Sheets Creates Modern Rammed Earth Home at Claremont, California », M. H. Rector. *American Home*, New York, pp. 38-39, juin 1944. Illus.
- « Asphalt Stabilized Adobe Block Used with Post and Girder Frame », *Southwest Builder and contractor*, Los Angeles, Calif., pp. 18-19, 22 septembre 1950.
- « Attractive Pisé Dwelling », *Queensland Agricultural Journal*, Brisbane, Australia, août 1937.
- « Basic Principles of Soil - Cement Mixtures », Frank T. Sheets and Miles D. Catton. *Engineering News Record*, New York, 23 juin 1938.
- « Bibliography », Numéro spécial. *Housing and Town and Country Planning Bulletin N° 4*, United Nations, New York, pp. 5-67, octobre 1950. (Voir « Rammed Earth », numéro spécial, dans la présente bibliographie.)
- Bitudobe Block Construction*. American Bituminous Company, Baltimore, Maryland.
- Bituminous Adobe Bricks*. Melhem T. Samaha, Bourge - Hammond, Beirut, Lebanon. (Manuscrit non publié.)
- Build Your Own Adobe*. Paul and Doris Aller. Stanford University Press, Stanford California 1946. 110 pp.
- « Building with Mud », *Rural New Yorker*, New York, p. 167, 8 février 1930.
- Building with Mud, Rammed Earth or Pisé de Terre*. Blair Action Burrows. Toronto, Canada, Ontario Department of Lands and Forest, n. d. 46 pp.
- « Built by Hand with Bitudobe », James R. Brugger. *American Home*, New York, pp. 148-150, avril 1950.
- « Built of Mud », A. H. Verrill. *Scientific American*, New York, pp. 110-111, août 1930. Illus.
- « Castles of Mud », S. MacDowell. *Sunset*, Menlo Park, Calif., p. 23, février 1926. Illus.
- « A Cheap Coating of Unstabilized Earth Walls », *Ideas and Methods Exchange N° 2, Item J*, International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., 8 décembre 1952.
- « A Cheap Hard Floor of Earth Stabilized with Portland Cement », *Ideas and Methods Exchange N° 1*, International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., novembre 1952.
- Clay Soil Unfavorable for Rammed Earth Walls*. Ralph L. Patty. Brookings, South Dakota, Department of Agricultural Engineering, Agricultural Experiment Station South Dakota State College March 1936. 23 pp. (*Agricultural Experiment Station Bulletin 298*.)
- « Cohesion in Colloidal Soils », F. Hardy. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, England, pp. 430-433, N° 4, 1925.
- « A Comparison of the Hydrometer Method and the Pipette Method for Making Mechanical Analyses of Soils with New Direction », George J. Buoyoucos, *Journal of the American Society of Agronomy*, Washington, D. C., pp. 747-751, 1930.
- La Construction en Béton de Terre*. Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer, Service de l'Habitat, Paris 1952. 66 pp.

- Cottage Building in Cob, Chalk and Clay.* Clough Williams-Ellis, New York, Charles Scribner's Sons, 1920.
- Demonstration of Stabilized Mud Brick in Egyptian Village Housing.* Arthur D. Little, Inc. U. S. Department of State, Washington 25, D. C., septembre 1953.
- « Design and Construction in the Tropics ». G. Anthony Atkinson. *Housing and Town and Country Planning Bulletin N° 6*, United Nations, New York, pp. 7-22, janvier 1952.
- « Determining Colloids in Soil for Rammed Earth Construction ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., juillet 1935.
- Development of Earth Building Blocks.* John Edward Kirkham. Engineering Experiment Station. Oklahoma A & M College, Stillwater, Oklahoma, Publication N° 46, octobre 1940.
- « Dirt Cheap Houses ». R. L. Holman. *Colliers*, New York, p. 45, 3 février 1945. illus.
- Dream in Adobe* California Citograph, Los Angeles, Calif., juillet 1945.
- « Earth Blocks by Puddling », *American Home*, New York, juillet 1947.
- Earth Brick Construction*, Elbert Hubbell, Education Division, Office of Indian Affairs, U. S. Department of the Interior. Imprimé par Chilocco Agricultural School, Chilocco, Oklahoma, 1943. 50 c.
- Earth Manual - A Manual on the Use of Earth Materials for Foundation and Construction Purposes.* U. S. Bureau of Reclamation, Denver, Colo., 1951. 332 pp.
- Earth Wall Construction.* Part I Choice of Soil and Methods of Construction, N° SB 13, sans date.  
Part II Rammed Earth, N° SB 18, juin 1951.  
Part III Adobe Blocks (Puddled Earth) N° SB 20, sans date.  
Part IV Stabilized Earth, N° SB 22, mars 1952.
- Ces publications font parties des *Notes on the Science of Building* publiées par Commonwealth Experimental Building Station, Department of Works and Housing, Chatswood, N.S.W. Australia, P. O. Box 30.
- Earth Wall Construction : Pisé or Rammed Earth, Adobe or Puddled Earth, Stabilized Earth.* G. F. Middleton. Sydney, Commonwealth Experimental Building Station, 1952. 46 pp. (Australia Commonwealth Experimental Building Station Bulletin N° 5.) Supersedes Duplicated document N° 28. Références pp. 45-46.
- The Economical Builder - A Treatise on Tapia and Pisé Walls.* E. Gilman, Washington, D. C., 1939.
- « Effect of Soil Texture upon the physical Characteristics of Adobe Bricks ». Harold C. Schwalen, University of Arizona, Tucson, Arizona. *Technical Bulletin 58*, 1935. Distribué par Arizona Agricultural Experiment Station, Tucson, Arizona.
- « El Paso, Texas - Patio Type Adobe Dwelling in Desert Sand ». Conception de Franck Lloyd Wright. *Architectural Forum*, New York, p. 97 janvier 1948.
- Experimental Cottages.* W. R. Jaggard. H. M. Stationery Office, London, England, 1921.
- Experimental Features on Public Housing Projects.* Franck J. Duane. U. S. Federal Public Housing Authority, Washington 25, D. C., 1945. 22 pp.
- « Experimental Results with Rammed Earth Construction ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., novembre 1934.
- Experiments in Rammed Earth Construction.* U. S. Department of Agriculture, Farm Security Administration. (Organisme successeur : Farmers Home Administration), Washington 25, D. C., novembre 1938. Nouveau tirage : juin 1942. 8 pp. (FSA Pub. 59.)
- Experimental Soil - Cement Stabilization at Sheboygan, Michigan.* Reprint Series N° 12, 1938, Department of Engineering Research, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan. 32 pp. (50 cents.)
- Extracts - 1944 Book of ASTM Standards.* American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pa.
- « A Fundamental Approach to the Stabilization of Cohesive Soils ». H. F. Winter-

- korn. *Proceedings of Highway Research Board*, Washington, D. C., 1948. pp. 415-422.
- « Fundamental Similarities between Electro-Osmotic and Thermo-Osmotic Phenomena ». H. F. Winterkorn. *Proceedings of the 27th Annual Meeting of the Highway Research Board*, Washington, D. C., décembre 1947. pp. 443-455.
- « Granddaddy of the Old Dude Ranch ». E. Roorbach. *Arts and Decoration*, New York, pp. 28-30, juin 1937. Illus.
- « Gumption Story N° 6 - This \$ 1,020 Home Took Git Up and Get ». *American Home*, New York, mai 1941.
- « Hard Surfaced Floors for Farm Buildings ». *Bulletin 393*, J. L. Wiersma. Department of Agriculture Engineering, South Dakota Agricultural Experiment Station, Brookings. South Dakota, mai 1949.
- « He Built His House on Weekends ». *House Beautiful*, New York, mars 1946.
- « Hearths of Santa Fe ». R. L. Barket. *House and Garden*, New York, p. 86, février 1927.
- « Heavy Rain Test ». In *Water Permeability of Masonry Walls*, BMS 7, National Bureau of Standards, U. S. Department of Commerce, Washington 25, D. C., 1938. p. 12.
- « Historic Hacienda Grande, San Diego ». C. Emery. *Sunset*, Menlo Park, Calif., pp. 50-51, septembre 1926. Illus.
- « Home Integrated with Creative Arts and Crafts - C and P Bolsius Home, Tucson, Arizona ». B. M. Wadsworth. *School Arts*, Worcester, Mass., pp. 229-232, mars 1944.
- « Homes Built of Rammed Earth ». *Compressed Air Magazine*, Phillipsburg, N. J., mars 1927.
- Homes of Earth*. Jacob L. Crane. United Nations, New York, 1951 (?), 12 pp. Publié pour 1950 West Indian Conference de 1950.
- « House Adobe Built ». *Travel*, New York, juin 1945.
- « House of Earth in New Mexico ». F. Clidden. *American Home*, New York, p. 32, novembre 1937. Illus.
- « House That Ben Built in Mesilla Park, New Mexico ». L. C. Rutz. *American Home*, New York, pp. 95-96, mai 1940. Illus.
- « Houses Built of Earth, Birmingham, Alabama ». *Architectural Record*, New York, octobre 1936.
- « Houses Built of Rammed Earth ». *Literary Digest*, New York, p. 21, 24 avril 1920. Illus.
- « Houses Dirt Cheap - Rammed Earth Building ». S. Robinson. *Rotarian*, Chicago, III., pp. 24-27, août 1939. Illus.
- « Houses of Earth ». Robert C. Cook. *New Republic*, New York, pp. 328-330, 6 septembre 1943.
- Houses of Earth*. A. B. Lee, Box 171, Washington, D. C., 1937. 44 pp.
- « Houses of Mud ». J. W. Porter. *Scientific American*, New York, p. 233, avril 1924. Illus.
- Houses of Rammed Earth Construction*. U. S. Department of Agriculture, Resettlement Administration, Washington, D. C., n. d., 4 pp. (Epuisé.)
- Housing Bulletin N° 2 of the Albert Farwell Bemis Foundation*, MIT, Cambridge, Mass., comprenant :
1. Solidification of Soil by Means of Chemicals. Supervisor, Prof. T. William Lambe.
  2. Stabilization of Soils with Calcium Acrylate. Extrait du *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, Vol. 38, N° 2, avril 1951.
  3. The Stabilization of Soils by In - Situ Polymerization. Communication présentée à American Society of Civil Engineers in New York, 26 octobre 1951.
- Housing in Pisé de Terre*. Report by the National Building and Housing Board to the Secretary, Office of the High Commissioner for Southern Rhodesia, Salisbury, Southern Rhodesia.
- « How Germans Build Mud Houses ». *Popular Science*, New York, p. 93, novembre 1947.
- How the World is Housed*. A. G. Carpenter. New York, American Book Company, 1930.

- How to Build a California Adobe*. Mark R. Harrington. Los Angeles, W. Ritchie Press, 1948. 57 pp. Références pp. 56-57.
- How to Build Adobe and Concrete Block Houses*. George C. Follis and Louis E. Dobson. Culver City, California, Murray & Gee, 1948. 32 pp.
- « How to Build Your Home of Earth ». John Edward Kirkham. *Engineering Experiment Station Publication N° 54*, Stillwater, Oklahoma, 1943.
- How to Build Your Own Home of Earth*. Oklahoma Engineering Experiment Station, Stillwater, Oklahoma, *Publication N° 64*, 1946.
- « How to Sling Mud Constructively ». H. R. Chapin. *Better Homes and Gardens*, Des Moines, Iowa, pp. 14-15, janvier 1941. Illus., plans.
- « The Hydrometer as a New and Rapid Method for Determining the Colloidal Content of Soils ». George John Bouyoucos. *Soil Science*, Baltimore, Md., p. 319, avril 1927.
- « The Hydrometer as a New Method for the Mechanical Analysis of Soils ». George John Bouyoucos. *Soil Science*, Baltimore, Md., p. 343, mai 1927.
- « I Wanted an Adobe House ». V. Fincke. *Arts and Decoration*, New York, pp. 26-28, octobre 1937. Illus.
- « Importance of Volume Relationships in Soil Stabilization ». H. F. Winterkorn and A. N. Dutta Choudbury. *Proceedings of the 29th Annual Meeting of the Highway Research Board*, Washington, D. C., décembre 1949, pp. 553-560.
- « Improve Physical Properties of Clays by Controlling pH Values ». H. G. Scheericht. *Brick & Clay Record*, Chicago, Ill., pp. 18-21, mars 1938.
- Investigation of Soils and Building Techniques for Rammed Earth Construction*. Edsel J. Burkhart, Texas Engineering Experiment Station, College Station, Texas, *Research Report N° 6*, 1949.
- Investigation of the Unconfined Compressive Strength of Soil - Cement Mixtures*. U. S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., *Technical Memorandum N° 187*, 1<sup>er</sup> février 1942.
- « Laboratory Experiments with Lime - Soil Mixtures ». A. Morgan Johnson. *Proceedings of the 28th Annual Meeting of the Highway Research Board*, Washington, D. C., décembre 1948.
- Lime as an Admixture for Bases and Subgrades*. K. B. Woods. Communication présentée à 31st Annual Convention of the National Lime Association, Washington, D. C., mai 1949.
- Low Cost Houses*. India, Building Research Unit. Roorkee, U. P., septembre 1949. 44 pp. (*B.R.U. Bulletin N° 1*.)
- « Making Mechanical Analyses of Soils in Fifteen Minutes ». George John Bouyoucos. *Soil Science*, Baltimore, Md., p. 473, juin 1928.
- « Mansions from Mud ». *Popular Mechanics*, Chicago, Ill., p. 107, novembre 1947. Ills.
- « Machine for Making Stabilized Earth or Sand - Cement Bricks ». *Ideas and Methods Exchange N° 10, Item F*, International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., juillet 1953.
- « Mansions of Mud ». J. L. Von Blon. *Scientific American*, New York. p. 218, 28 février 1920. Illus.
- A Method of Soil Section and Job Control for Rammed Earth Construction*. Thèse présentée par Alva E. Koch, Civil Engineering Department, Texas Agricultural and Mechanical College, College Station, Texas.
- Minimum Property Requirements for Properties of One or Two Living Units*. U. S. Federal Housing Administration. Phoenix, Arizona Insuring Office, Section 406-I; Los Angeles, California Insuring Office, Section 406-I; Albuquerque, New Mexico Insuring Office, Section 406-I; Houston and San Antonio, Texas Insuring Offices, Section 406-O.
- « Modern Pioneers in Arizona ». *American Home*, New York, octobre 1945.
- « Modernizing the Adobe ». M. Brownfield. *Sunset*, Menlo Park, Calif., pp. 68-70, octobre 1920. Illus.
- « More Mud Houses ». K. J. Ellington. *Scientific American*, New York, pp. pp. 1174-1175, mars 1925. Illus.
- « Mrs. Ingleby's Adobe ». A. L. Murray. *Sunset*, Menlo Park, Calif., pp. 64-66, novembre 1922.

- « Mud House Comes Back - New Weatherproofing Process Revives Ancient Building Art ». *Popular Science*, New York, p. 30, juin 1937. Illus.
- « Mud House Won a National Prize ». M. O. Williams. *Sunset*, Menlo Park, Calif., pp. 50-51, octobre 1928. Illus.
- « Mud Mansions - Detroit Co-op Builds Rammed Earth Homes ». *Business Week*, New York, pp. 63-64, 12 décembre 1942. Illus.
- « A Mud Ranch House Designed by a California Engineer ». R. M. Gray. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., p. 276, 1926.
- New Hard Surfaced Floors for the Farm Poultry House*. R. L. Patty and L. F. Larsen, *Circular N° 42*, 1943. The Department of Agricultural Engineering, South Dakota Agricultural Experiment Station, Brookings, South Dakota.
- « New Methods, Old Type of Houses for Future, Rammed Earth houses ». *Science New-Letter*, Washington, D. C., p. 252, 19 avril 1947.
- « New Slant on Solidifying Mud ». *Chemical Engineering*, New York, janvier 1952.
- New Use for Mud*. Purdue Agriculturalist, Lafayette, Ind., mars 1941.
- « New Way to Make Low-Cost Drives, Walks, Terraces, Barbeques - Stabilized Soil ». Hans F. Winterkorn. *The Countryman's Guide*. The Country Bookstore, Noroton, Connecticut.
- « No Garrets for these Artists - Cinco Pintores Colony, New Mexico ». L. L. Cassidy. *Sunset*, Menlo Park, Calif., pp. 64-65, novembre 1925. Illus.
- « Nouvelles Recherches en Matière de Stabilisation des Sols ». H. F. Winterkorn. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, Paris, pp. 933-942, septembre 1952.
- « Old Adobe Comes Into Its Own - Finely Restored House in Monterey, California ». P. Ackerman. *House Beautiful*, New York, pp. 565-567, décembre 1924. Illus.
- « Out of the Good Earth Will Come Our Dream House - Rammed Earth Houses ». *American Home*, New York, pp. 24-26, septembre 1943. Illus.
- Faints and Plasters for Rammed Earth Walls*. Ralph L. Patty, Department of Agricultural Engineering, South Dakota Agricultural Experiment Station, Brookings, South Dakota, *Bulletin N° 366*, 1940. (Épuisé.)
- The Physical Properties of Adobe Used as a Building Material*. Thomas T. Eyre, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, *Engineering Bulletin 263*, 1935 (25 cents).
- « Physico-Chemical Testing of Soils and Application of the Results in Practice ». H. F. Winterkorn. Tiré à part des *Proceedings of the 20th Annual Meeting of the Highway Research Board*, décembre 1940, pp. 798-806, Washington, D. C.
- « Pisé Construction ». *Journal of Jamaica Agricultural Society*. Kingston, Jamaica, mai 1941.
- « Pisé Construction of Farm Buildings ». *Queensland Agricultural Journal*, Brisbane, Australia, juillet 1931.
- « Pisé de Terre ». *Agriculture and Livestock in India*, Calcutta, India, juillet 1939.
- « Pisé de Terre ». *Rhodesia Agricultural Journal*, Salisbury, septembre 1925.
- « Pneumatic Tamping in Rammed Earth Wall ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., août 1929.
- Pressed Clay for Building Construction*. H. E. Glenn. Clemson, S. C., Clemson Agricultural College of South Carolina, Engineering Experiment Station, octobre 1951, 23 pp. (*Engineering Experiment Station, Bulletin N° 5*.)
- The Properties of Compacted Soil and Soil Cement Mixtures for Use in Building*. T. L. Webb, T. F. Cilliers, and N. Stutterheim. National Building Research Institute, South African Council on Scientific and Industrial Research, Pretoria 1950, Series DR2.
- « Protective Coverings for Rammed Earth Walls ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., mars 1933.
- « Puddled Earth and Rammed Earth Walls ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., août 1939.
- « Puyé in New Mexico ». Geoffrey Grigson. *The Listener*, London, pp. 297-398, 21 août 1952.
- A Qualitative Comparison of Rammed Earth and Sun - Dried Brick*. Richard H.

- Clough, Albuquerque, N. M., University of New Mexico Press, 1950, 73 pp. (*New Mexico University Publications in Engineering N° 4.*) \$ 1.00.
- « Rammed Earth, One of Man's Oldest Building Materials ». *Architectural Forum*, New York, pp. 147-149, décembre 1946. Illus., plans.
- Rammed Earth*, Numéro spécial. *Housing and Town and Country Planning Bulletin N° 4*, United Nations, New York, pp. 5-67, octobre 1950. Articles : Rammed Earth Technique in France, par A. Marini ; Rammed Earth Technique in the United States, par L. W. Neubauer ; Rammed Earth Technique in West Africa, par A. E. S. Alcock ; Training Course for Building Rammed Earth Houses in Nyasaland, par P. Williams. Glossary. Bibliographie.
- Rammed Earth Building Construction*, H. E. Glen, South Carolina Agricultural Experiment Station, Clemson, S. C., *Bulletin 3*, 1943.
- « Rammed Earth Building Improved in Australia ». *American Builder*, Chicago, III., pp. 182, 184, 186, 188, 190, mai 1950.
- « Rammed Earth Construction ». Rockwell King Du Moulin. *Consumers Research*, Inc., Washington, New Jersey, 1939.
- Rammed Earth Construction*, Thomas Hibben, U. S. National Youth Administration. *Technical Information Circular N° 16, Supplement N° 1*, 1940. (Épuisé. Peut être consulté dans les grandes bibliothèques.)
- « Rammed Earth Construction - Supplementary Information ». *Consumers Research*, Inc., Washington, New Jersey, 1940.
- « Rammed Earth for Farm Building Walls ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., janvier 1934.
- The Rammed Earth House*, Anthony F. Merrill, Farper & Brothers, New York, 1947, 230 pp.
- « Rammed Earth Houses ». Louis J. Horn. *Capper's Farmer*, Topeka, Kan., novembre 1951.
- « Rammed Earth Lowers House Cost ». G. H. Dacy. *Popular Mechanics*, Chicago, III., pp. 838-840, novembre 1924. Illus.
- « Rammed Earth Technique in France (Marini) ; Rammed Earth Technique in the United States (Neubauer) ; and Rammed Earth Technique in West Africa (Alcock) ». *Bulletin N° 4, Housing and Town and Country Planning*, United Nations, octobre 1950.
- « Rammed Earth Walls for Buildings ». *Farmer's Bulletin N° 1500*, U. S. Department of Agriculture, Washington 25, D. C., 1937. (Sup't. of Documents, Government Printing Office, Washington 25, D. C.) (Épuisé.)
- Rammed Earth Walls for Farm Buildings*, Ralph L. Patty and L. W. Minium. *Bulletin 227*, 1933. (Révisé en 1938, 1945 et 1947.) The Department of Agricultural Engineering, South Dakota Agricultural Experiment Station, Brookings, South Dakota.
- « Rammed Earth Walls in House Construction, Experiences in Indonesia ». *Ideas and Methods Exchange N° 15, Item J*, International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., mai 1954.
- « Rammed Soil for Building ». *Science News-Letter*, Washington, D. C., p. 86, 6 août 1949.
- « Rapid Preparation of Soil Samples ». Bob M. Gallaway. *Excavating Engineer*, South Milwaukee, Wisc., pp. 25-29, mai 1952.
- Recommended Minimum Requirements for Masonry Wall Construction*, Bureau of Standards, U. S. Department of Commerce, Washington 25, D. C., BH 6, 1924.
- The Relationship of Colloids in Soils to its Favorable Use in Pise or Rammed Earth Walls*, Ralph L. Patty, Department of Agricultural Engineering, Agricultural Experimental Station, South Dakota State College, Brookings, South Dakota, *Bulletin 298*, mars 1936, 24 pp.
- « Report from Morocco ». G. E. Kidder Smith. *Architectural Forum*, New York, pp. 64, 68, 72, juin 1950.
- Report on Conditions of Rammed Earth Buildings Built 1820-1854*, Sumpter, South Carolina, T. A. H. Miller, U. S. Department of Agriculture, Bureau of Agricultural Engineering, Washington 25, D. C., 1926.

- « Report of Committee on Lime - Soil Stabilization ». American Road Builders' Association, Washington, D. C., *Technical Bulletin N° 147*, 1948.
- Report of the Construction of Some Sample Rammed Earth Building Blocks which is the First Phase of a Continuing Experiment*. Hindustani Talimi Sangh. Sous les auspices du Ministry of Education of the Government of Bihar, India.
- Report on Egyptian Village Housing, Building Materials and Methods of Construction*. Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass., avril 1952.
- « Resinous Water Repellents for Soils ». *Technical Memorandum N° 217-1*, mai 1946. U. S. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- « Restored Adobe in Santa Barbara ». M. D. Kern. *American Home*, New York, pp. 32-34, mars 1936. Illus.
- « Restoring Our Devastated Regions ». C. F. Ansley. *Survey*, New York, pp. 222-223, 15 novembre 1926.
- « Romance of the Adobe ». A. L. Murray. *Overland*, San Francisco, Calif., new series, p. 349, août 1924. Illus.
- Santa Barbara Adobes*. Clarence C. Cullimore, avec l'autorisation de Santa Barbara Historical Society, Santa Barbara, California, Santa Barbara Book Pub. Co., 1948, 225 pp.
- Short-Cut Soil-Cement Testing Procedures for Sandy Soil*. Soil-Cement Bureau, 1953. Distribué par Portland Cement Association, 33 Grand Avenue, Cicago, Ill.
- « A Six-Room House \$ 2,800 Complete ». G. W. Pierce, Jr. *The Technical Press*, Swampscott, Massachusetts, \$ 2,00.
- « The Sod House ». Louise W. Mears. *Journal of Geography*, Chicago, Ill., pp. 385-389, juin 1916.
- « Soil Admixtures for Earth Walls ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., septembre 1942.
- « Soil Bituminous Roads ». *Current Road Problems N° 12*. Highway Research Board National Research Council, Washington 25, D. C., septembre 1946.
- « Soil Cement Construction ». J. H. Forbes. *The Builder*, London, pp. 359-360, 14 septembre 1951.
- « Soil Cement for House Construction ». Ralph Stone. *Civil Engineering*, New York, pp. 1005-1007, décembre 1952.
- Soil Cement for Low-Cost House and Farm Building Construction in Rural Areas*. Portland Cement Association, Chicago, Ill. Nouvelle édition 1946.
- Soil Cement Mixtures*. Manuel de laboratoire contenant des directives techniques pour les essais de mélanges terre-ciment pour le revêtement des routes. Les mêmes procédés conviennent pour les essais de terres agglomérées pour les constructions. Portland Cement Association, Chicago, Illinois.
- Soil Engineering at Princeton University*. G. P. Tschebotarioff and H. F. Winterkorn. Trié à part des *Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Rotterdam, 1948. Vol. VI, pp. 230-232.
- « Soil Stabilization in Tropical Areas for Mass Construction of Cheap Permanent Housing ». *Ideas and Methods Exchange N° 9, Item J*. International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., mai 1953.
- « Soil Stabilization - Symposium at Institution of Highway Engineers ». *The Surveyor and Municipal and Country Engineer*, London, England, pp. 789-792, 8 décembre 1951.
- « Soil Stabilization with Emulsified Asphalt ». C. L. McKesson. *Highway Research Board Proceedings, 15th Annual Meeting*, 1935. Washington, D. C.
- Soil Survey Manual*. Charles E. Kellogg. U. S. Department of Agriculture, *Miscellaneous Publication 274*. Washington, D. C., 1938, 136 pp.
- « Soil Tests for Stabilized Soil Construction ». *Ideas and Methods Exchange N° 11, Item G*. International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., septembre 1953.
- « Solid Ground for Progress ». *Chemical Week*, New York, 10 mai 1952.
- « Specifications for Rammed Earth Construction ». *Agricultural Engineering*, St. Joseph, Mich., novembre 1936.

- « Stabilized Earth Walls - Construction », *Colonial Building Notes N° 8*, United Kingdom Building Research Station, Watford, Herts, England, août 1952. 12 pp.
- Stabilization of Soils by In-Situ Polymerization*. T. William Lambe. Tiré à part d'une communication présentée à l'American Society of Civil Engineers à New York, 26 octobre 1951.
- Stabilization of Soils with Calcium Acrylate*. T. William Lambe. Tiré à part de *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*, Boston, Mass., avril 1951.
- « Stabilize with Chemicals ? », *Chemical Engineering*, New York, août 1952.
- « Stabilized Soil Blocks - Manufactured in Tropical Countries », *British Constructional Engineer*, London, England, août 1951.
- Statement on Condition of Rammed Earth Houses*. U. S. Department of Agriculture, Farmers' Home Administration, Washington 25, D. C., 1940.
- « A Story from the Southwest », *Rural New Yorker*, New York, p. 260, 9 avril 1938.
- Structural Heat - Transfer and Water Permeability Properties of Five Earth - Wall Constructions*. H. L. Whittenmore, Ambrose H. Stang, Elberg Hubbell and Richard Dill, National Bureau of Standards, U. S. Department of Commerce, Washington 25, D. C., BMS Series N° 78, 1941. (Supplément de *Documents*, Government Printing Office, Washington 25, D. C.) 20 cents.
- The Suitability of Stabilized Soil for Building Construction*. Edwin L. Hansen. *Bulletin 333*, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, Ill. 45 cents.
- « Surface Finishes of Stabilized Earth Walls », *Ideas and Methods Exchange N° 14, Item G*, International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., mars 1954.
- Swisherete*. Notes sur la construction en terre-ciment stabilisé en Côte-d'Or. A. E. S. Alcock, *Colonial Building Notes N° 16*, Building Research Station, Watford, Herts, England, septembre 1953.
- « Tapia Brick Buildings », *Ideas and Methods Exchange N° 2, Item I*, International Housing Activities Staff, U. S. Housing and Home Finance Agency, Washington 25, D. C., 8 décembre 1952.
- « Tentative Method of Freezing and Thawing Test of Compacted Soil - Cement Mixtures », *ASTM Designation D 560-40 T*, 1940. American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pa.
- « Tentative Method of Test for Moisture - Density Relations of Soil - Cement Mixtures », *ASTM Designation D 558-40 T*, 1940. American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pa.
- « Tentative Method of Wetting and Drying Test of Compacted Soil - Cement Mixtures », *ASTM Designation D 559-40 T*, 1940. American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pa.
- Terracrete, Building with Rammed Earth - Cement*. Chez l'auteur Mr. Francis MacDonald, Salinas, California, \$ 1.00.
- « The Build with Dirt », E. A. Mumert, *Country Gentlemen*, Philadelphia, Pa., p. 27, septembre 1941.
- « Twenty-Nine Palms », M. V. Trigg, *Atlantic Monthly*, Boston, Mass., pp. 65-69, mars 1945 ; pp. 65-66, avril 1945.
- « The Use of Adobe in Construction », *American Builder*, Chicago, Ill., pp. 169-171, avril 1951.
- The Use of Earth as a Building Material*. F. C. Fenton, Engineering Experiment Station, Kansas State College, Manhattan, Kans., *Bulletin 41*, 1941.
- « Utilizing Earth as a Quantity Construction Material », Louis J. Horn, *Texas Engineering Experiment Station News*, College Station, Texas, pp. 3-7, mars 1952.
- Waterproofing Cohesive Soil by Resinous Treatment*. H. F. Winterkorn, R. G. Fehrman and G. W. Mc Alphin. Tiré à part de *Soil Science Society of America Proceedings*, Morgantown, W. Va., 1945. pp. 458-460.
- Waterproofing of Adobe*. A. R. Legault, Colorado Agricultural Experiment Station, Ft. Collins, Colorado, *Bulletin N° 5*, 1943. Free.
- Waterproofing of Adobe Fested to Extend Its Use Into the Rainy Areas of the State*. Adrian R. Legault, Civil Engineering Section, Colorado Agricultural

MAISONS EN TERRE

- Experiment Station, Fort Collins, Colo. Tiré à part de *Colorado Farm Bulletin*, juillet-septembre 1943.
- Why Not Rammed Earth ». Mat Kauten and Marie Kauten. *Woman's Home Companion*, New York, pp. 62-63, février 1949. Illus., plans.
- Why Not Build an Adobe Cottage ». Charlotte P. Larkin. Kawakawa, Bay of Islands, N. Z. *Northland Gazette*, 1947. 51 pp.
- Why Not Build our Garden Walls of Earth? ». R. L. Patty. *American Home*, New York, p. 12, août 1938. Illus.
- Why Not Dirt Houses ». E. Kirmsier. *American Mercury*, New York, pp. 86-90, juillet 1947.
- Why Not Rammed Earth? ». *Rotarian*, Chicago, Ill., août 1946.
- You Build Your Next House of Molasses ». Michael Day. *Popular Mechanics*, Chicago, Ill., p. 110, septembre 1951.
- Your Dream House Gets Down to Earth ». M. D. Nelson and M. Kauten. *American Home*, New York, pp. 36-40, juillet 1944. Illus., plans.

## BIBLIOGRAPHIES

**NOTE.** — La « Housing and Home Finance Agency » ne détient pas d'exemplaires des publications ci-dessus, ni pour la distribution, ni pour la vente. On doit donc les consulter à une bibliothèque technique ou publique, ou encore les commander directement chez l'éditeur. Cette bibliographie n'est que partielle, et les références qui y sont incluses ne doivent pas forcément être considérées comme étant les meilleures. Les suggestions permettant de compléter cette liste, sont les bienvenues.

- Bibliography on Rammed Earth Construction.* U. S. Public Housing Administration, Washington 25, D. C., avril 1952. 2 pp.
- Bibliography on Soil Stabilization.* (Library Bibliography N° 76/JBB), Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory, Harmondsworth West Dragton, Middlesex, England, octobre 1952.
- « List of References on Earth Construction », H. H. Barrows. In *President's Conference on Home Building and Home Ownership*, Vol. II, Housing Objectives and Programs, Washington, D. C., 1932. pp. 96-99.
- « Rammed Earth Construction : Selected Bibliography », *Housing and Town and Country Planning Bulletin N° 4*, United Nations, New York, pp. 60-67, octobre 1950.
- Sources of Information on Earth Construction.* U. S. Department of agriculture, Bureau of Plant Industry, Soils, and Agricultural Engineering, Division of Farm Building and Rural Housing, Washington 25, D. C., Nouvelle édition, juillet 1952. 4 pp.

NOTE : The Housing and Home Finance Agency does not have, either for distribution or sale, copies of the preceding identified publications, other than its own. They should be consulted at a technical library or public library or they may be ordered directly from their respective publishers, if given. This is a partial bibliography only and the inclusion of particular references is not to be interpreted as an indication that they are the best of their kind. No discrimination is intended by the inclusion or omission of particular items and no preference can be expressed or implied. Suggestions for additions to the preceding list will be welcomed.