

RESUME

L'adobéton est une technique de construction de murs extérieurs durable. Elle est à très haute intensité de main d'oeuvre (HIMO) et fait massivement appel aux matériaux locaux. Elle a été mise au point au Maroc à la fin des années 80. Elle s'est développée principalement dans ce pays ainsi qu'au Tchad ; elle commence à se diffuser en Afrique de l'Ouest.

L'article montre la genèse de cette technique et part du concept de «stabilisation» du matériau terre et comment elle fait la synthèse entre les constructions traditionnelles en adobe (dites «banco» en Afrique de l'Ouest) et celles dites «en dur».

Puis il présente la technique elle-même dans son principe et dans ses aspects les plus concrets. Il met ainsi en évidence l'intérêt qu'elle présente, non seulement pour les occupants des bâtiments ainsi construits, mais encore pour les professionnels de la construction et pour les autorités politiques des pays en développement.

Après la récapitulation des inconvénients et des avantages de la technique, l'article montre les perspectives qu'elle ouvre. Certaines sont de simples variantes techniques qui élargissent son champ d'application. D'autres ont une tout autre ampleur et débouchent sur des conséquences inédites :

* développement des citernes enterrées (pour les pays à longue saison sèche),

* émergence d'une nouvelle ingénierie. Celle-ci a pour objet principal le développement et l'amélioration de l'habitat économique, notamment dans les zones périphériques à forte croissance démographique de nombreuses grandes villes de pays en développement.

ABSTRACT

"Adobeton" is a new building technology which makes earthen external walls durable. It is high intensive labour (HIL) and requires a lot of local materials. It was set up in Morocco by the end of the eighties. Then, it has mainly developed in this country and in Chad. For a few years, it has begun spreading in Western Africa.

The paper shows the genesis of this technology from the concept of earth stabilization ; so that adobeton could be considered now as a synthesis of traditional adobe building ("banco" in Western Africa) and concrete building.

It introduces the technology itself and its practical aspects. It highlights its interest, not only for

L'ADOBETON UNE TECHNOLOGIE APPROPRIÉE POUR UN HABITAT ECONOMIQUE AMELIORE

Michel MARTIN *

Docteur-Ingénieur Ecole des Mines de Paris
Chef du département de Génie Civil (E.I.E.R.)

INTRODUCTION

Dans cet article, on ne cherche pas à donner des informations exhaustives sur le procédé : celles-ci figurent dans les "Documents Normatifs de l'Adobéton" que l'on peut se procurer auprès de l'E.I.E.R. (1).

On ne cherche pas non plus à en donner de nombreuses illustrations : une exposition intitulée "Architectures et Technologies Africaines Contemporaines" a en effet été présentée en Avril 1997 au Centre Culturel Français de Ouagadougou et placée depuis sur Internet. Tous ceux qui y sont raccordés peuvent donc désormais la visiter sur leur écran d'ordinateur (2).

On veut seulement présenter dans cet article :

1/ l'évolution de la terre comme matériau de construction ; ce faisant, on montrera comment, et pour répondre à quelles questions, on a abouti à l'adobéton ;

2/ ce qu'est effectivement la technologie "adobéton" (néologisme résultant tout bonnement de la contraction des mots "adobe" et "béton" !)

owners, but also for professionals in construction and for public authorities in developing countries. It lists the drawbacks and the advantages of adobeton and shows the main prospects that could be opened up. Some are simple technical variants which widen its field of application. Others lead to original consequences :

* development of underground tanks (for countries with a long dry season),

* emergence of a new engineering.

Its main object is the development and the improvement of low cost housing, especially in suburban areas of great cities in developing countries.

3/ quels sont ses avantages et ses inconvénients ;

4/ quelles perspectives elle offre en matière d'habitat, et :

5/ où en est son développement aujourd'hui en Afrique.

1/ EVOLUTION DE LA TERRE COMME MATERIAU DE CONSTRUCTION

On peut considérer l'adobéton comme la dernière étape dans l'évolution du "matériau terre" lorsqu'il est destiné à la construction de bâtiments. Ces étapes sont (voir tableau 1) :

- la terre crue,
- la terre stabilisée,
- la terre "bicouche",
- l'adobéton.

1.a La terre crue

Dans la grande majorité des cas (sur l'ensemble de la planète), la terre crue est mise en oeuvre sous forme de blocs moulés à forte humidité et maçonnés après quelques jours de séchage. Le nom donné internationalement à ces blocs est "adobe" ; mais en Afrique, les deux principaux noms vernaculaires sont "banco" (en Afrique de l'Ouest) et "briques de poto-poto" *** ou même tout simplement "poto-poto" (dans un pays comme le Tchad, par exemple).

1.b La terre stabilisée

Après la seconde guerre mondiale, diverses tentatives ont été faites en plusieurs parties du monde pour améliorer la qualité et la durabilité des constructions en terre. Elles ont été conduites selon deux axes :

*** Ce terme désigne en fait de la boue. Elle peut être mise en oeuvre soit sous forme de blocs (adobes), soit directement par façonnage en place, en général sur une structure de branchages (stick-poto-poto). La première forme est surtout répandue en Afrique centrale sahélienne, alors que la seconde se trouve plutôt en Afrique centrale équatoriale.

* *l'amélioration du matériau* (par adjonction d'un stabilisant, en général du ciment, parfois de la chaux ou du bitume, plus rarement d'autres produits comme la gomme arabique ou même des hydrophobants de synthèse) ;

* *l'amélioration du bloc* des points de vue de la géométrie et de la résistance mécanique (par compression du matériau dans des presses, soit manuelles, soit plus ou moins mécanisées).

Il est à noter que cette double évolution a imposé un changement des terres utilisées, les terres fines des adobes se prêtant beaucoup moins bien que les terres plus grenues à des mélanges avec un stabilisant et, surtout, à une compression mécanique. D'où les deux corollaires de cette évolution :

* *la sélection géotechnique des terres* dans des carrières ou des gîtes à matériaux, souvent éloignés des chantiers ; et donc la nécessité

d'un chargement, d'un transport et d'un déchargement pour le principal matériau de la construction à réaliser ;

* *l'introduction de matériels spécifiques* : presses, mais aussi pulvérisateurs, cribles, malaxeurs (3) qui sont non ou malaisément fabricables localement et, dans tous les cas, beaucoup plus onéreux que les moules en bois traditionnels !

Cette double évolution n'a donc pas conduit à un remplacement des constructions traditionnelles en adobe, mais a généré un nouveau type de constructions, certes de meilleure qualité, mais aussi de coût nettement plus élevé. Comme il existe par ailleurs d'autres techniques fortement concurrentielles (comme le parpaing de sable-ciment par exemple), on comprend que les constructions en B.T.S. (Blocs de Terre Stabilisée) aient du mal à se développer depuis une trentaine d'années.

1. c La terre bicouche (4)

Dès le milieu des années 70, à l'E.I.E.R., on a procédé à une première critique de l'évolution sus-indiquée : **au fond, à quoi sert le stabilisant ?**

Cet exercice que l'on peut qualifier d'analyse fonctionnelle a débouché sur les résultats suivants :

* le stabilisant améliore la durabilité à la pluie. Mais cette amélioration est toute relative et loin d'atteindre l'inaltérabilité (réelle ou supposée) des constructions "en dur" ;

* le stabilisant améliore la résistance mécanique de la terre, surtout si celle-ci vient à s'humidifier. Mais il n'est pas nécessaire dans la mesure où la terre est destinée à des constructions :

- en rez-de-chaussée (vu le très faible niveau des contraintes : moins de 1 bar),

Tableau 1 : tableau synthétisant l'évolution du matériau terre et montrant la genèse de l'adobéton

Epoque	Type de produit	Principaux problèmes rencontrés	Mesures techniques et évolution
Jusqu'en 1950	Terre crue	* Erodabilité	* Ajout d'un stabilisant : - ciment (surtout), mais aussi : - chaux, bitume, etc....
Années 50, 60 et 70	Terre stabilisée (ou B.T.S., ou géobéton)	* Coût (dû au stabilisant) * Rejet psychologique non-surmonté	* Sur-stabilisation, mais en surface seulement (économie de sta-bilisant)
Année 1975 et suivantes (Grésillon : EIER)	Terre bicouche	* Fragilité (couche surstabilisée se dé-collant du substrat non-stabilisé, donc finalement comme les enduits) * Faible productivité * Question de l'acceptation psychologique non-réglée	* Transformation de la couche surstabilisée de surface en un bardage-ancrage par des écailles préfabriquées en aggloméré de ciment (béton)
Année 89 et suivantes (Martin : MAROC, (TCHAD, EIER)	* Adobéton et ses variantes : - <u>adobrique</u> (avec écailles en terre cuite) - <u>gypsobéton</u> (avec substrat en plâtre tiré du phosphogypse non-épuré) - <u>gypsobrique</u>	* Rigidité architecturale * Mise en oeuvre très qualifiée	* Mise au point de produits spécifiques (écailles d'angle) et d'outils d'aide à la mise en oeuvre (crémaillères, gabarit de calage des écailles) * Elaboration d'un programme de formation à la maçonnerie adobéton * Réalisation d'un équipement structurant à l'EIER pour l'étude de la durabilité des structures à la pluie (kiosque de durabilité).

- et adéquatement protégées contre l'humidification de leurs murs.

En d'autres termes, le stabilisant tel qu'employé classiquement dans le BTS n'est pas utile pour la grande majorité des constructions en Afrique (qui sont en rez-de-chaussée) à condition de protéger les murs contre :

- ① les remontées capillaires,
- ② les infiltrations par la toiture, et
- ③ la pluie.

Les deux premiers phénomènes pouvant être efficacement combattus par des dispositions constructives simples (à base de films polyanes ou autres), l'E.I.E.R. a principalement travaillé sur la durabilité des blocs à la pluie. Pour ce faire, elle a mis au point un bloc "bicouche" dans lequel le stabilisant est concentré sur la face verticale qui sera soumise aux intempéries. Il comprend donc :

- * une couche "surstabilisée" extérieure, de 3 ou 4 cm d'épaisseur, qui protège
- * une "couche" non-stabilisée (en fait, le reste du bloc, beaucoup plus épais).

Cette technique avait l'avantage de faire de sérieuses économies de stabilisants, mais elle n'a pas eu le succès escompté pour les trois raisons suivantes :

- * une productivité peu élevée (blocs plus complexes à fabriquer) ;
- * la plupart du temps, l'existence d'un retrait différentiel au séchage entre les deux couches de sorte que celle surstabilisée en surface finissait par se décoller et par tomber en cas de choc. Bref, cette couche surstabilisée se comportait comme un enduit intégré et présentait le même défaut d'adhérence, mais avec une mise en oeuvre plus compliquée ;
- * enfin, malgré un taux de stabilisation en ciment de la couche extérieure du même ordre que celui du béton (environ 15%), la perception du matériau restait celle d'une terre et non d'un matériau "en dur" comme par exemple le béton.

1. d L'adobéton

A la fin des années 80, au Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE) de Casablanca au Maroc, on a alors procédé à une critique

complète des actions entreprises pour améliorer le "matériau de construction terre" en posant la question dans toute sa globalité : **au fond, que veulent les différents intervenants dans la construction, à commencer par le moins écouté d'entre eux : l'occupant ?**

On est donc rentré dans une démarche de type analyse de la valeur qui a conduit à distinguer trois groupes d'intervenants :

- * les occupants,
- * les professionnels de la construction,
- * les autorités politiques et administratives.

Il s'est avéré alors que chacun d'eux avait un souci principal bien spécifique et qu'il se déclinait, avec des intensités variables, selon trois domaines bien distincts :

- * les aspect psycho-sociaux,
- * les aspects économiques,
- * les aspects techniques.

Ces divers éléments sont regroupés ci-contre dans le "tableau des souhaits" des principaux intervenants, le chiffre apparaissant dans les différentes cases représentant le niveau de priorité donné à l'aspect considéré.

Tableau 2 : tableau des souhaits des intervenants dans la construction

Intervenants	Occupants	Professionnels de la construction	Autorités politiques et administratives
Souci majeur Aspects principaux	Disposer d'un logement digne et financièrement accessible	Exercer une activité rentable et fiable	Susciter une espérance économique
Aspects psycho-sociaux	Construction donnant une <u>image sociale</u> valorisante vis à vis du voisinage 1	Construction donnant une <u>image professionnelle</u> valorisante vis à vis des clients potentiels 3	Construction de <u>qualité</u> et utilisant des technologies à <u>fort potentiel médiatique</u> 3
Aspects économiques	Construction faisant appel à des technologies <u>peu coûteuses</u> et permettant une <u>participation personnelle</u> 2	Construction faisant appel à des technologies <u>rentables</u> où une partie des tâches ne peut être faite <u>que par des professionnels</u> 1	Construction faisant appel à des technologies <u>HIMO</u> et employant un maximum de <u>matériaux locaux</u> 1
Aspects techniques	Construction <u>durable</u> avec <u>entretien minimal</u> et <u>réalisable personnellement</u> 2	Construction faisant appel à des technologies <u>fiables</u> et <u>codifiées</u> 2	Construction faisant appel à des technologies <u>arrivées à maturité</u> 2

Sur ce tableau 2, on note que la hiérarchie des souhaits n'est pas identique pour les trois catégories d'intervenants :

- * pour la catégorie des "occupants", les aspects psycho-sociaux sont légèrement prédominants, les aspects économiques et techniques venant juste après ;
- * pour les deux autres catégories ("professionnels" et "autorités"), ce sont plutôt les aspects économiques qui sont premiers, les autres aspects venant ensuite.

Grâce à cette analyse participative, on a pu établir un véritable cahier des charges fonctionnel de la solution technique à mettre au point pour que les constructions en terre puissent voir leur qualité s'améliorer tout en restant accessible à un grand nombre de ceux qui bâtissent de façon traditionnelle. A partir de là, les grandes caractéristiques de l'adobéton sont apparues assez simplement.

2/ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE ADOBETON

2.a Principe de la technologie

On peut donc définir l'adobéton comme **une technologie de construction de murs extérieurs durables par une maçonnerie mixte d'éléments porteurs en adobes et d'éléments de protection en béton** (ou plutôt en aggloméré de ciment, c'est-à-dire la même matière que les "parpaings de ciment"). Et si les éléments de protection sont en terre cuite, parlera d'adobrique.

Par rapport au bloc bicouche, le caractère hybride est encore renforcé : on associe désormais du béton à la terre crue (et non plus de la terre stabilisée). De plus, l'association ne se fait plus au niveau de la préfabrication des blocs avant maçonnerie, mais lors de la mise en oeuvre sur le chantier.

Ceci appelle donc deux remarques générales :

* on glisse du concept de "matériau local" vers celui de "technologie appropriée" :

* on va dans le sens actuel (du moins en ce qui concerne les structures de bâtiment) d'une séparation des fonctions par association de matériaux différents et non dans celui d'une intégration au sein d'éléments polyvalents.

L'innovation consiste surtout dans le système d'association des éléments de protection (appelés couramment "écailles") avec la maçonnerie des blocs porteurs. Etant plus rigides, les écailles doivent pouvoir jouer les unes par rapport aux autres tout en restant fixées aux blocs. Ceci est réalisé :

* grâce la forme des écailles (qui se présentent comme des "L" renversés) et

* par l'ancrage de leur aile horizontale au niveau des joints de maçonnerie.

Afin de mieux faire comprendre le principe de l'association entre les blocs d'adobe et les écailles de protection en béton, on a représenté sur cette page et la suivante :

* deux coupes de murs en adobéton, l'une avec des écaille épaisses (25-30mm), l'autre avec des écailles minces (10-12 mm),

* un gros plan de mur pris sur un chantier récent à Ouagadougou (photo 1),



Photo 1 : Gros plan d'un mur en adobéton (la mise en oeuvre est ici approximative avec des joints de collage trop épais).

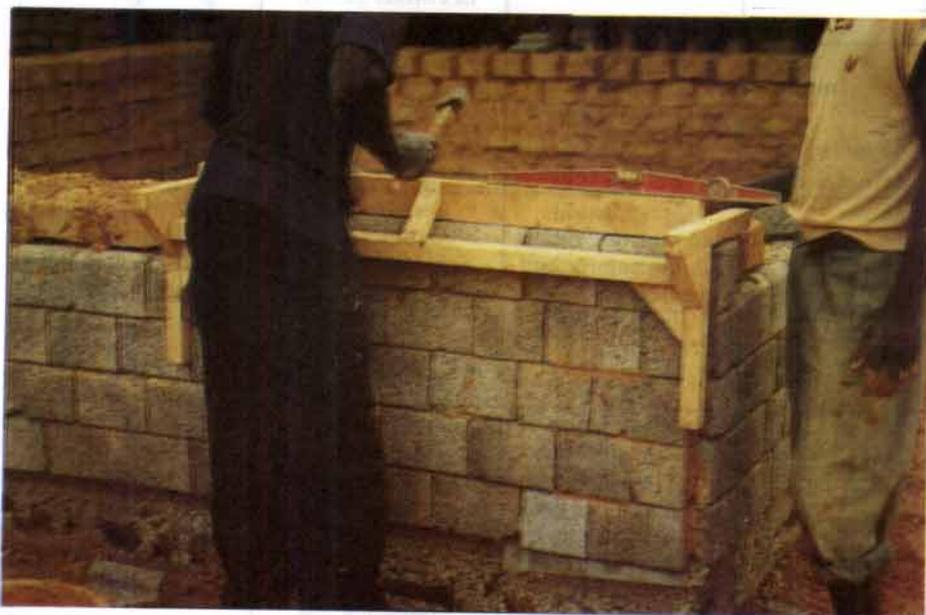


Photo 2 : Mise en oeuvre de l'adobéton avec le gabarit de calage des écailles. Pour bien l'utiliser, il faut un marteau, un niveau et un maçon convenablement formé!

* une photo montrant l'emploi du gabarit de calage en bois pour une mise en oeuvre bien régulière des écailles. (photo 2).

2.b Réalisation concrète des murs en adobéton

La réalisation des murs extérieurs en adobéton se décompose classiquement en deux phases : la conception et l'exécution.

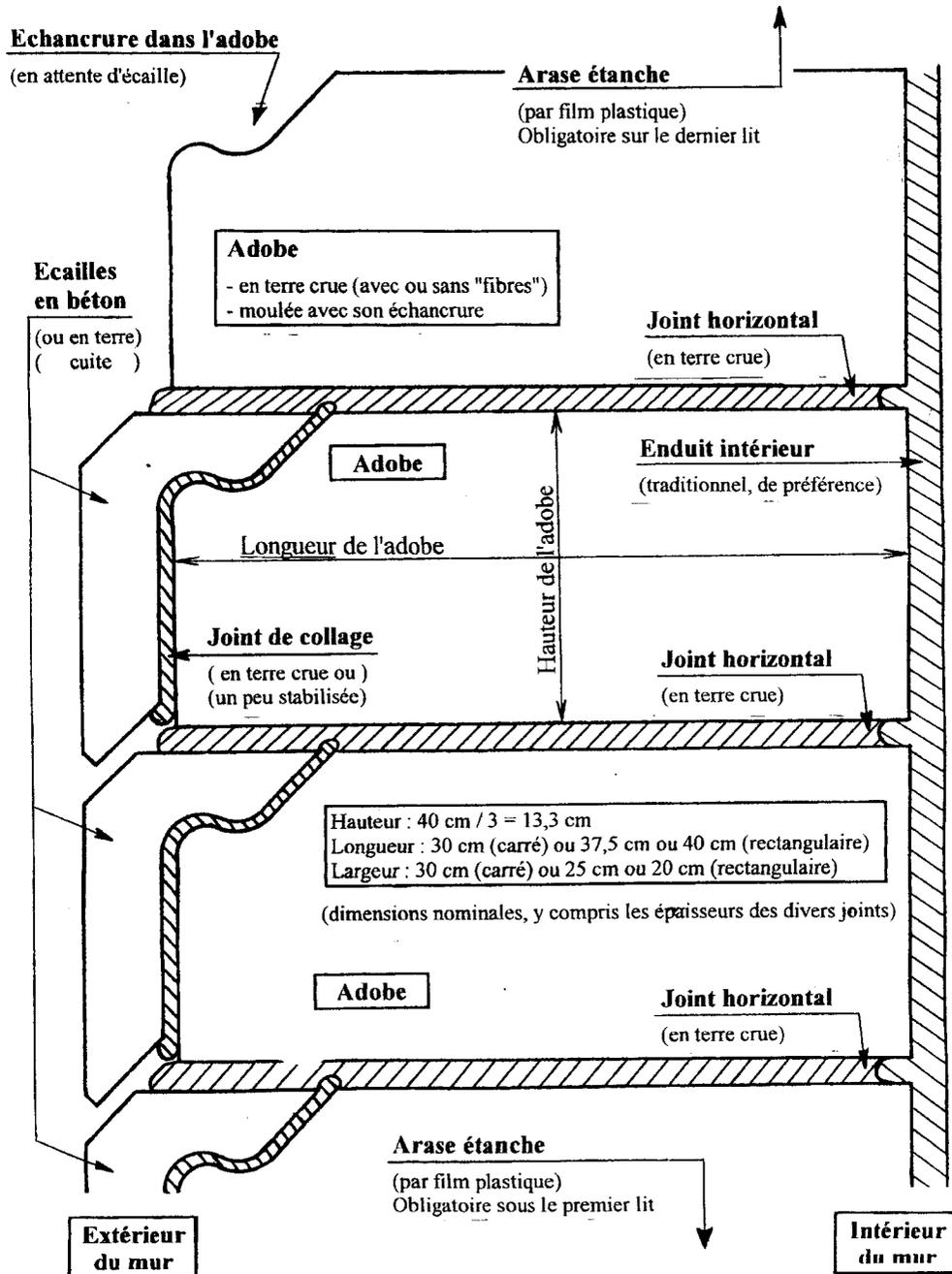
Le travail de conception consiste essentiellement à tracer les plans de calepinage des blocs, mais aussi des écailles.

Pour les blocs, on utilise un des trois formats nominaux suivants : 30x30 cm ; 40 x 20 cm ; 37,5 x 25 cm (les formats rectangulaires étant toujours placés en boutisse car les murs ont une épaisseur minimale de 30 cm). On commence par le lit des linteaux (chainés ou avec un appui latéral minimum de 30 cm), puis on trace les lits impairs et pairs au-dessus de

ce niveau et, pour finir, les lits impairs et pairs des trumeaux et des allèges. Pour ce faire, il n'est pas nécessaire de disposer d'un

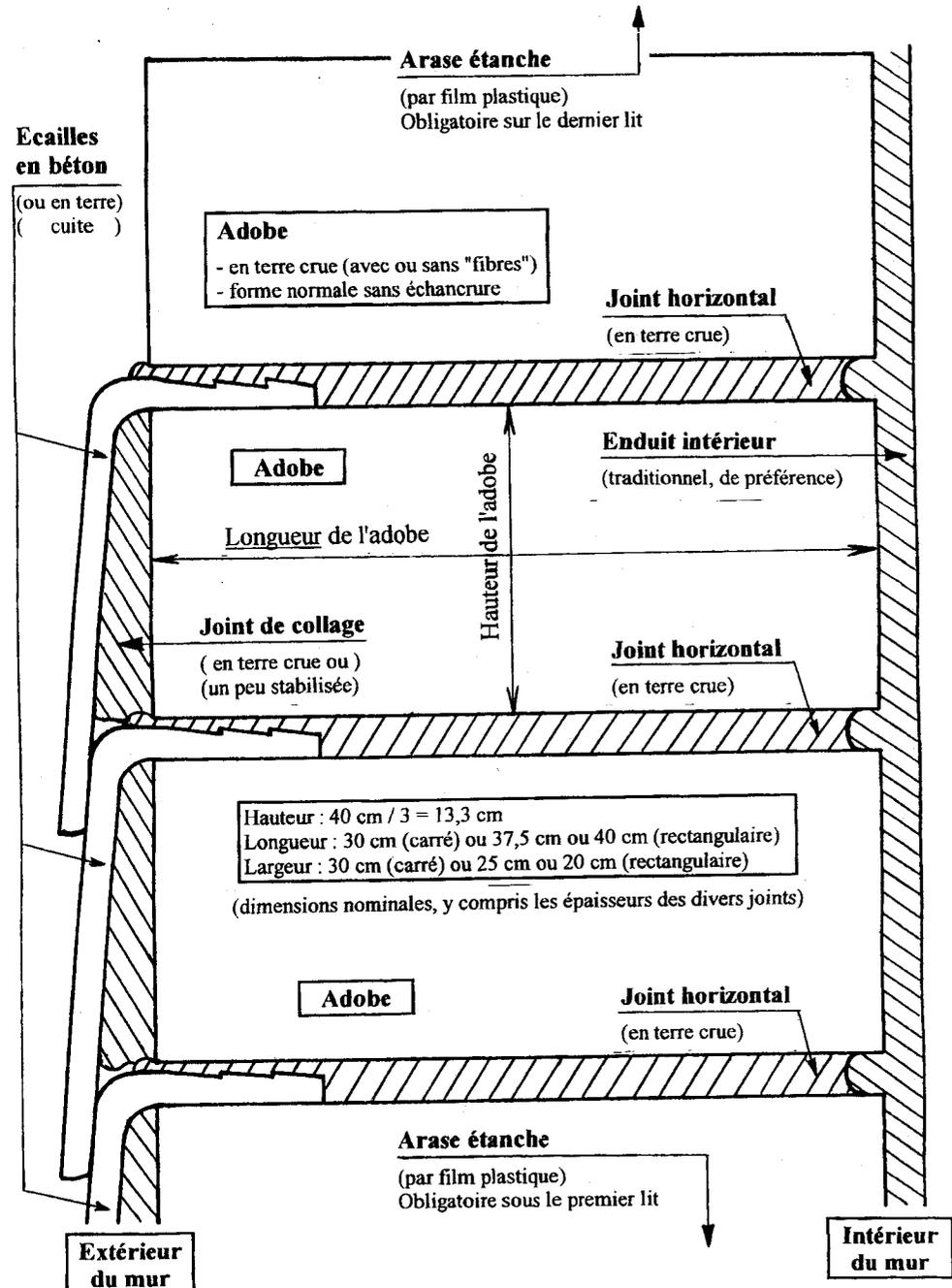
COUPE D'UN MUR EN ADOBETON

(avec écailles épaisses : 25 à 30 mm)



COUPE D'UN MUR EN ADOBETON

(avec écailles minces : 10 à 12 mm)



ordinateur et de logiciels spécialisés (même s'ils font gagner beaucoup de temps) : pour de petits bâtiments, du papier quadrillé est largement suffisant.

Pour les écaïlles, les plans de calepinage se font sur les élévations des différentes façades. Il est conseillé d'employer des écaïlles de même largeur que les blocs, c'est-à-dire de 30, de 20 ou de 25 cm (la coïncidence ou non des joints verticaux entre les blocs et entre les écaïlles étant indifférente). Dans tous les cas, la hauteur usuelle des lits en adobéton est de 13,3 cm, soit 3 lits dans 40 cm (joints horizontaux compris).

L'exécution comprend trois parties : la fabrication des écaïlles, le moulage des adobes et la maçonnerie commune de ces deux types d'éléments.

La préfabrication des écaïlles peut se faire au moyen de quatre outils différents :

* quand les écaïlles sont minces (10 à 12 mm), c'est la même table vibrante que pour les tuiles de mortier vibré (TMV). Ces tables sont assez bien répandues en Afrique Noire en raison de la promotion faite depuis une quinzaine d'années par le BIT pour ce type de couverture comme alternative à la tôle ondulée. Mais par rapport aux TMV, la forme de séchage change : ce ne sont plus des supports spéciaux en plastique ondulé, mais deux simples planches en bois faisant un angle légèrement obtus (90 à 95°) ;

* quand les écaïlles sont épaisses (25 à 30 mm), on a le choix entre les trois instruments suivants :

• le **moule manuel** (pour l'essentiel en métal). La fabrication se fait à l'unité par damage violent sur un couvercle épais en bois renforcé de métal. Il faut un support de démoulage et de séchage, le temps que le béton de l'écaïlle fasse prise et avant que l'écaïlle ne soit plongée dans l'eau pour sa cure. La production est de l'ordre d'une centaine par jour ;

• la **poutre vibrante** (métallique). Elle permet de fabriquer simultanément 6 écaïlles de 30 cm ou 9 écaïlles de 20 cm ou 7 écaïlles de 25 cm.

Là encore des supports de démoulage et de séchage (en général en tôle galvanisée de quelques dixièmes) sont nécessaires. Pour éviter tout accrochage du béton sur ces supports, on peut placer en interface des plastiques de récupération. La production est fonction du nombre de supports disponibles. Elle peut atteindre un demi-millier par jour ;

• la "**pondeuse d'agglos**" munie d'un moule particulier (dit moule adobéton). La productivité est très élevée (28 écaïlles par pont) et la production quotidienne s'élève à plusieurs milliers. Il n'y a pas de supports de démoulage et de séchage puisque les écaïlles sont pondues verticalement sur le sol. En contrepartie, cet outil ne permet de fabriquer que des écaïlles de 20 cm de longueur, cette dimension étant elle-même approximative (à quelques millimètres près) principalement du fait du manque de planéité des sols et du léger affaissement du béton au démoulage.

La fabrication des écaïlles demande donc un matériel spécialisé. C'est une niche possible d'activité pour les professionnels qui auraient investi dans de tels outils. Cependant, une production lente - et un peu archaïque - reste possible avec les moules manuels. Elle est plutôt réservée aux zones reculées où les autres outils plus modernes et compétitifs ne seraient pas en concurrence pour cause d'indisponibilité. On notera enfin que les écaïlles sont des produits non-fragiles qui se transportent très facilement dans des véhicules courants comme les "bâchées" ou autres.

Le moulage des adobes reste, quant à lui, une activité très rustique. Ce n'est donc pas une affaire de professionnels, mais celle de la population qui maîtrise presque partout ce savoir-faire traditionnel et très simple. Les moules sont en général en bois et aux dimensions précédemment indiquées.

Dans le cas d'un emploi ultérieur d'écaïlles minces, l'aile horizontale passera dans l'épaisseur du joint de la maçonnerie et il n'est pas nécessaire, pour l'accueillir, de prévoir une échancrure dans les adobes. Celles-ci sont donc de très clas-

siques parallélépipèdes.

Dans le cas d'un emploi ultérieur d'écaïlles épaisses, il convient de mouler des **adobes avec échancrure**. L'emploi des moules habituels par soulèvement s'avère assez inconfortable car, au moment de leur arasement, il faut enfoncer dans la terre humide une - ou plusieurs - pièce(s) en bois de la forme de l'échancrure ; or cette (ces) pièce(s) peu(ven)t basculer ou se coincer ou frotter sur les parois (même en collant du formica à l'intérieur du moule pour faciliter le démoulage). Les **moules par retournement** permettent d'éviter tous ces inconvénients ; de plus l'échancrure est très bien formée, quelle que soit sa complexité (angles, etc...). Ces moules sont toujours en bois et un peu moins simples que les quatre planches clouées traditionnelles : les pièces en bois donnant la forme de l'échancrure sont collées sur une plaque de fond (qui est enlevée après démoulage). Pour éviter le collage de la terre :

* sur cette plaque et les pièces d'échancrure en bois, on place là encore une interface en plastique de récupération,

* sur le moule au moment du démoulage, on colle à l'intérieur du formica.

Enfin, on conseille d'augmenter la longévité du moule en faisant des assemblages non pas cloués, mais vissés-collés.

La mise en oeuvre commune des écaïlles et des adobes peut difficilement, si l'on veut une rapidité et une qualité acceptables, être faite sans maçons. Pour ceux-ci, il est même fort conseillé de suivre une formation "sur le tas" d'une dizaine de jours.

La terre des adobes et des différents joints étant crue (aucune stabilisation), il faut placer une arase étanche sur le soubassement (en fait, un simple film plastique) pour éviter les remontées capillaires. De la même façon, lorsque le mur sera terminé, il faudra veiller très attentivement à en sur-protéger la partie supérieure afin de prévenir toute infiltration depuis la couverture. Il ne doit pas y avoir de terre crue au-dessus de l'étanchéité supérieure spécifique aux murs en adobéton.

La mise en oeuvre elle-même est relativement classique : on commence toujours par les angles et on maçonne les parties courantes entre ces derniers. La succession des tâches pour chaque lit est la suivante :

- 1- étalement du joint horizontal (en fait une boue pas trop liquide) ;
- 2- pose des adobes ;
- 3- bourrage des joints verticaux entre adobes (avec la même matière que pour les joints horizontaux) ;
- 4- remplissage du joint intérieur des écaïlles avec une boue légèrement plus liquide que pour les joints entre adobes ;
- 5- pose des écaïlles sur l'alignement des adobes échancrées ;
- 6- réglage du positionnement de ces écaïlles au moyen d'un maillet et d'un gabarit de calage en bois (guidé lui-même par un classique niveau de maçon).

Quand les écaïlles sont épaisses, il est conseillé d'attendre un peu (environ une heure) pour procéder aux étapes 5 et 6 de façon à ce que la boue des joints ait eu le temps de sécher suffisamment et que les coups de maillet ne perturbent pas l'ordonnancement des adobes. Quant aux écaïlles, elles sont posées par groupes de 3 à 6, selon la longueur du gabarit de calage (longueur qui varie en général de 0,6 m à 1,2 m : moins long, son utilité est insuffisante ; plus long, il devient encombrant et malaisé à manipuler).

Quand les écaïlles sont minces, les outils de réglage des écaïlles sont différents. Il n'y a pas de maillet, ni d'ailleurs de gabarit de calage, mais un système de crémaillère guidant une barre horizontale (en fait un profil creux métallique de section rectangulaire) sur laquelle s'appuie la base des écaïlles recouvrant celles du lit précédent.

Qu'elles soient épaisses ou minces, les écaïlles peuvent aussi bien se toucher latéralement qu'être séparées par un petit espace qu'on ferme avec un mortier de ciment. Le premier type de joint a en général la faveur du maçon... mais pas celle de l'architecte, et inversement.

Enfin pour la finition intérieure, on emploie les enduits traditionnels. En effet, si la durabilité de ces derniers est le plus souvent insuffisante vis à vis des intempéries, elle est tout à fait convenable à l'intérieur des constructions. Au Burkina, les deux enduits traditionnels les plus utilisés sont la gousse de néré et la plante appelée "ilampon" par les Lobis.

2.c Adéquation entre l'adobéton et les acteurs de la construction

Cette présentation concrète étant faite, on observe à quel point l'adobéton est conforme aux souhaits des principaux intervenants dans la construction.

Pour la catégorie des "Occupants" :

- * l'aspect extérieur est "en dur", c'est-à-dire en béton ou, à la rigueur, en terre cuite. De plus, la modénature des murs extérieurs (module : 20 ou 25 ou 30 x 13,3 cm) est très différente de celle du parpaing (40 x 20 cm) et leur donne un aspect flatteur ;
- * les blocs d'adobe permettent de construire à faible coût (disponibilité véritablement locale du matériau) et, au futur occupant, de participer effectivement au travail s'il le désire (savoir-faire traditionnel, pas de matériel spécialisé).

Pour la catégorie des "Professionnels" :

- * la fabrication des écaïlles en béton ne peut être faite efficacement que par eux (matériel de moulage spécifique) et la mise en oeuvre plus technique de la maçonnerie exclut une éventuelle concurrence des futurs occupants eux-mêmes si ceux-ci veulent une qualité convenable et conforme à l'image sociale qu'ils souhaitent ;
- * l'adobéton est très rentable par rapport à des technologies concurrentes comme le parpaing de ciment. A Ouagadougou, la différence de prix de revient au mètre carré de mur est estimée à 15% en faveur du premier alors même que sa qualité est bien meilleure (écaïlles dosées à 250 - 275 kg de ciment/m³ de béton contre 150 kg/m³ environ pour les parpaings "du trottoir") ;

* l'adobéton est une technique codifiée, avec des documents normatifs. On peut donc s'y référer pour établir un cahier des charges ;

* l'adobéton est une technologie fiable dans le cadre des limites d'utilisation actuellement connues. Celles-ci sont principalement fonction de la pluviométrie (pas de constructions jusqu'à ce jour dans des zones au-dessus de 1000-1200 mm/an) et de l'usage du bâtiment (pas d'écaïlles minces, par exemple, pour des écoles car elles sont moins résistantes aux chocs).

Pour la catégorie des "Autorités" :

- * l'adobéton est une technologie à très haute intensité de main d'oeuvre (HIMO) qui fait appel à des matériaux véritablement locaux (en provenance de la parcelle même, de la voirie adjacente ou d'une zone à proximité immédiate) ;
- * avec près de 10 ans de recul et des évaluations très positives pour les premiers bâtiments construits au Maroc (5), l'adobéton peut être considéré comme une technologie arrivée à maturité ;
- * l'adobéton est aisément diffusable et une sensibilisation à grande échelle des décideurs et des populations est aujourd'hui possible grâce à un film vidéo qui s'intitule : "l'adobéton, c'est super-banco !" (6).

3/ AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ADOBETON

L'adobéton présente quelques inconvénients et beaucoup d'avantages.

i1 Le principal inconvénient est de limiter relativement l'*expression architecturale* : l'adobéton convient d'autant mieux que les formes sont simples, rectilignes et que les angles sont droits et pas trop nombreux (un peu à l'instar des constructions en pisé).

i2 Un autre inconvénient est de nécessiter un *apprentissage*. En effet, la mise en oeuvre commune, lit après lit, des adobes et des écaïlles requiert un savoir-faire spécifique. Ainsi, l'adobéton introduit une qualification profession-

nelle supplémentaire dans le métier de maçon. L'expérience montre qu'il faut veiller à leur stabilité sur le chantier tout au long de sa durée.

Quant aux avantages, ils sont multiples :

Sur le plan technique

a1 Grande variété de terres utilisables. Donc, si on construit traditionnellement en adobe dans le secteur, on pourra presque toujours utiliser la terre du site même pour les constructions en adobéton ; d'où de substantielles économies (pas de transport de matériaux).

a2 Bonne régularité de la performance mécanique des blocs d'adobe. Certes, leur résistance est plus modeste que celle des B.T.S., mais elle est de toute façon largement suffisante pour l'usage que l'on en fait (constructions en rez-de-chaussée). Par contre ce qui est capital dans un contexte de normalisation technique et de garantie des constructions, c'est la faible dispersion des valeurs de cette résistance. Le processus de production des adobes (un "compactage solaire" égal pour tous les blocs) conduit à des valeurs très régulières que d'autres techniques ont plus de mal à atteindre (cas par exemple du bloc comprimé dans des presses manuelles dont le magasin n'est pas toujours bien rempli).

a3 Excellente durabilité à la pluie (celle du béton, ou de la terre cuite pour l'adobrique). Pour l'instant, comme indiqué un peu plus haut, celle-ci n'a été testée qu'avec des pluviométries inférieures à 1000-1200 mm/an.

a4 Quantité de ciment employé nulle pour l'adobrique et réduite pour l'adobéton à 10 kg/m² de façade de mur extérieur (avec un dosage normal à 250-275 kg/m³ pour les écaïlles). Par comparaison, les consommations sont d'environ :

- ° 15 kg/m² pour le parpaing de 15 cm (au sous-dosage minimum de 150 kg/m³) ;
- ° 17,5 kg/m² pour le B.T.S. de même épaisseur (avec le dosage habituel de 6%) ;
- ° 35 kg/m² (soit trois fois et demi plus !) pour le B.T.S. avec l'épaisseur minimale des murs en adobéton (30 cm) et le même dosage que ci-dessus.

a5 Quantité de ciment employé indépendante de l'épaisseur des murs (contrairement donc aux parpaings et aux B.T.S.).

La terre étant locale, il en résulte que le coût d'un mur épais est à peine supérieur à celui d'un mur mince ; donc on construit systématiquement avec de fortes épaisseurs ($e \geq 30$ cm) et il en résulte :

a6 Excellent confort d'habitation grâce à l'importante inertie thermique de ces murs épais en terre.

a7 Excellente stabilité mécanique de ces murs porteurs vu leur faible élancement.

a8 Masquage d'éventuels petits désordres dans le mur (fissures, etc...) grâce à l'habillage d'écaïlles.

Sur le plan social

a9 Création de nombreux emplois (fabrication des adobes, des écaïlles, et leur mise en oeuvre commune).

a10 Possibilité de participation en travail (et non en argent) des futurs occupants-bénéficiaires par le moulage des adobes.

Par exemple : militaires pour leur caserne, villageois pour leur centre de santé, parents pour l'école de leurs enfants, etc...

a11 Élévation de la qualification des emplois créés chez les professionnels de la construction (fabrication des écaïlles, maçonnerie plus technique) et création d'une dynamique de qualification professionnelle.

a12 Excellente acceptabilité psychologique par la population ("occupants" potentiels).

Sur le plan macro-économique

a13 Limitation des consommations de ciment dans la phase d'investissement.

a14 Limitation des consommations électriques dans la phase de fonctionnement (moindres besoins de climatisation artificielle).

Sur le plan micro-économique

a15 Très bon rapport qualité-prix en investissement et en fonctionnement dans de nombreux pays.

a16 Coût modéré, surtout depuis la dévaluation du franc CFA qui a provoqué, dans les pays africains de la zone franc, une forte augmentation du prix du ciment.

En conclusion, on peut dire que l'adobéton est un système constructif approprié à fort potentiel de développement local.

En modernisant un procédé très traditionnel : l'adobe, il permet d'améliorer les constructions en milieu périurbain et/ou rural de forte densité, et de toucher de nouvelles couches de population restées jusqu'ici à l'écart d'une amélioration sérieuse de leur habitat.

4/ PERSPECTIVES EN MATIÈRE D'HABITAT

Grâce à certaines de ses caractéristiques, l'adobéton ouvre des perspectives particulièrement intéressantes en matière d'habitat.

La première perspective provient des écaïlles dont on peut varier la matière et l'aspect extérieur (couleur, état de surface, etc...). Ainsi, dans un certain nombre de pays (en Afrique équatoriale notamment), il peut être intéressant de développer l'adobrique, surtout dans les régions où la petite brique cuite est traditionnelle.

En effet, cette technique est très grande consommatrice d'énergie, le combustible étant en général le bois (ou plus précisément l'eucalyptus) et les fours - constitués par l'empilement des briques à cuire - étant des plus rudimentaires avec un rendement très médiocre.

En termes d'intrants énergétiques, la cuisson des seules écaïlles (c'est-à-dire du bardage extérieur des murs) au lieu de toute leur épaisseur, permettrait en principe une économie d'énergie de 85 %, sans même essayer d'améliorer le rendement du four !

Dans des pays comme le Rwanda, le Burundi ou la région bamiléké au Cameroun, l'adobrique pourrait représenter un excellent intermédiaire technico-économique entre le "stick-potopoto" et la terre cuite intégrale. De plus son impact sur

l'environnement serait hautement positif compte tenu :

* des fortes densités de population qu'on y rencontre et

* du relief accidenté de ces pays (où l'érosion est amplifiée par le déboisement).

La deuxième perspective provient des blocs dont on peut envisager de varier aussi la matière. En effet, dans un certain nombre de pays où il existe une industrie des phosphates (Maroc, Sénégal, Togo, Tunisie), les déchets représentés par le phosphogypse posent de sérieux problèmes d'environnement. Et jusqu'ici, leur valorisation éventuelle sous forme de plâtre destiné à la construction a toujours échoué sur le coût de son indispensable épuration.

Or avec l'adobéton, on peut justement envisager un emploi sans épuration. En effet, le phosphoplâtre (plâtre tiré du phosphogypse par simple chauffage) se prête aussi bien que le plâtre au moulage.

Il suffit simplement d'en maîtriser la prise en y ajoutant, si nécessaire, un retardateur courant comme l'urée agricole.

Avec les écailles à l'extérieur (en béton ou en terre cuite) et un enduit classique à l'intérieur, on peut imaginer de réaliser des murs maçonnés avec de tels blocs. Cependant, tout cela demeure théorique tant qu'un certain nombre de vérifications indispensables - car de nature sanitaire - n'auront pas été menées. Le phosphogypse, en effet, est un produit à manier avec précaution du fait de sa radio-activité naturelle (celle de la roche phosphatée d'origine, mais est-elle supérieure à celle de nombre de pierres granitiques ?) et des traces d'éléments chimiques indésirables (surtout le chrome, mais à quelle concentration et sous quelle forme sont-ils éventuellement nuisibles ?).

La troisième perspective est de loin la plus intéressante. Elle provient de la très grande variété de terres utilisables dans l'adobéton, pourvu qu'elles aient une cohésion naturelle suffisante. Or c'est presque partout le cas dans les régions sahéliennes et soudano-sahéliennes. En d'autres termes, on a très souvent

la possibilité de prendre la terre sur place, c'est-à-dire dans la parcelle elle-même, dans une parcelle voisine ou dans la voirie adjacente. Compte tenu des importants volumes nécessaires (de l'ordre de 0,5 m³ de terre par m² couvert), il se pose le même problème qu'en ingénierie routière : équilibrer les déblais et les remblais.

Les "remblais" étant les murs de la construction, il reste à donner une fonction d'habitat à (ou aux) excavation(s). On peut imaginer beaucoup de valorisations plus ou moins utiles (7), mais la plus prometteuse est représentée par les citernes enterrées. En effet, on constate la double correspondance suivante :

* volume de terre nécessaire à la construction = volume de l'excavation = capacité de la citerne = quantité d'eau tombant sur ladite construction pendant la saison des pluies dans ces régions (soit une pluviométrie de 500 à 1000 mm par an environ multipliée par l'aire de la toiture qui, en l'occurrence sert d'impluvium) ;

* capacité de la citerne = besoins minimaux journaliers en eau des occupants (selon la norme OMS de 25 litres / personne x jour) multipliés par le nombre de jours d'une saison sèche habituelle (7 mois, soit environ 200 jours).

Par exemple, une construction en adobéton de 100 m² (en rez-de-chaussée) demandera environ 50 m³ de terre. C'est aussi le volume de l'excavation que l'on valorise sous forme de citerne enterrée ; et on peut remplir celle-ci en une saison des pluies (50 m³ = 100 m² x 500 mm).

On peut considérer par ailleurs que la construction abrite une dizaine de personnes dont les besoins minimaux en eau (norme OMS) sont de 25 x 10 = 250 litres par jour, soit 250 litres x 200 jours = 50 m³ pendant toute la saison sèche. C'est justement le volume de la citerne ainsi associée à la construction.

On peut donc imaginer, dans les prochaines années, l'émergence d'une ingénierie innovante spécialisée dans la production d'un habitat économique amélioré à la périphérie de plusieurs grandes villes afri-

caines. La croissance démographique et l'importance des besoins humains qu'on y rencontre montrent, s'il en est besoin, les enjeux considérables qui s'attachent au développement d'une telle ingénierie.

Quant à ses méthodes et aux modalités possibles de sa mise en oeuvre, elles sont explorées dans un autre document (8) - de nature surtout organisationnelle - que l'on peut se procurer également auprès de l'EIER.

5/ DEVELOPPEMENT ACTUEL DE L'ADOBETON EN AFRIQUE ET CONCLUSION

5.a Point technique sur l'adobéton et ses variantes

L'adobéton est une technologie de construction de murs extérieurs durables utilisée principalement au Maroc et au Tchad.

Cette technique est fiable et complètement opérationnelle, du moins avec les écailles épaisses, même si elle reste perfectible sur certains points de détail comme l'amélioration du traitement des angles et des ouvertures (pour ces dernières, on s'oriente de plus en plus aujourd'hui vers des joues et des appuis préfabriqués de faible épaisseur en béton légèrement armé).

La principale action à mener désormais concerne la diffusion et la vulgarisation. C'est en ce domaine que vont porter les efforts de l'EIER dans les mois qui viennent.

Le message devrait être d'autant plus facilement reçu qu'avec la dévaluation du franc CFA et le renchérissement du coût du ciment, l'adobéton creuse l'écart sur le plan micro-économique.

L'adobrique, quant à elle, demeure encore dans le domaine expérimental. Une production pilote d'écailles industrielles minces va commencer à Ouagadougou. Leur mise en oeuvre sera identique à celle des écailles minces en béton (voir l'exemple du chantier du musée national du Tchad, place des Martyrs à N'Djaména).

Mais pour des raisons de distance de transport, l'adobrique "industrielle" restera nécessairement limitée à un certain rayon autour de l'usine de production. C'est pourquoi une autre filière est en cours de développement à l'EIER : l'adobrique "rustique".

Les écailles sont épaisses et moulées manuellement avec un petit outil en bois. Ensuite, elles sont cuites dans un four semi-enterré alimenté exclusivement par de la paille ou de l'herbe fauchée, donc sans bois. Bien entendu, la température de cuisson (600°C environ au lieu de 1000 à 1100°C) est très inférieure à celle des écailles industrielles ; et la qualité de ces produits s'apparente plus à celle des poteries traditionnelles comme les canaris.

Aussi leur durabilité à long terme doit-elle être assurée par un traitement de surface complémentaire comme, par exemple, une simple peinture à base de ciment.

A un niveau beaucoup plus prospectif, d'autres variantes techniques sont envisagées avec des écailles en plastique (traité contre les U.V.) ou avec des blocs à base de plâtre tiré sans épuration des déchets industriels de phosphogypse.

5.b Point sur les constructions en adobéton

On terminera par la présentation de quelques projets déjà menés à bien. Et on ajoutera quelques autres en cours ou en préparation.

Au Maroc, les principales constructions sont des maisons cantonnières réalisées pour le compte de la Direction des Equipements Publics (Ministère de l'Equipement et de la Formation Professionnelle).

Au Tchad, les principales opérations menées*** sont des bases phytosanitaires dans 8 villes du pays pour le compte de la FAO.

Les populations locales ayant demandé et récupéré les moules manuels à écailles à la fin des chantiers, il est vraisemblable que l'adobéton continue de s'y développer... dans l'anonymat.

On doit aussi ajouter une opération récente : le musée national du Tchad en plein N'Djaména avec des murs épais parfois de près d'un mètre, les blocs de "poto-poto" contenant beaucoup d'argile gonflante et n'étant pas stabilisés !

Au Burkina, on a réalisé pour le compte de l'E.I.E.R. divers locaux de service ainsi que l'hôtellerie des vacataires de passage, à la cité des 20 villas de professeurs (voir photo de 4ème de couverture).

Concernant les principaux projets, on notera surtout :

*** Architecte-constructeur :
Monsieur René SCHÄRER,
ONG Arc en Terre,
BP 748 N'Djaména - TCHAD
Tél / Fax : (235) 51 87 92

JBG Gauff Ingenieure

INGENIEURS CONSEILS

30 ans d'activités en Afrique

1 - **BURKINA FASO**
Ouagadougou
BP 3969 - Tél 33 41 56

2 - **COTE D'IVOIRE**
Abidjan
BP 851 - Tél 44 40 82

3 - **GABON**
Libreville
BP 13143

4 - **GUINEE**
Conakry
BP 797

5 - **KENYA**
Nairobi
PO Box 49817 - Tél 33 72 72

6 - **MALI**
Bamako
BP 701 - Tél 22 63 22

7 - **NIGER**
Niamey
BP 12715

8 - **NIGERIA**
Lagos
PO Box 8876

9 - **TANZANIE**
Dar Es Salam
PO box 4651 Tél 287 12

10 - **TCHAD**
N'Djaména
BP 23



11 - **OUGANDA**
Kampala
PO Box 201 Tél 23 13 54

12 - **Rép. D. CONGO (Ex Zaïre)**
Kinshasa
BP 2508 Tél 12/28262

13 - **ZAMBIE**
Lusaka
PO Box 32817 Tél 25 29 32

* la construction d'une école près de Ouagadougou dans le cadre de la phase pilote du projet "FAVRESC" (Formation-Action de Villageois pour la Réalisation de leurs Equipements Socio-Collectifs).

Cette action est soutenue par le FED et les coopérations autrichienne, belge et néerlandaise. Elle vise plusieurs objectifs dont les principaux sont les suivants :

- ° formation technique des artisans dans les villages,
- ° emploi de techniques HIMO (haute intensité de main d'oeuvre) et de matériaux véritablement locaux,
- ° participation populaire à la réalisation des équipements collectifs,
- ° exemplarité sociale, technique et financière des opérations devant assurer leur promotion et leur répétabilité dans les villages voisins ;

* la construction d'extensions du lycée technique de Maradi (Niger) dans le cadre d'une formation-action avec les élèves.

Des contacts préliminaires ont été pris aussi pour la construction de plusieurs écoles au Mali dans le cadre d'un volet du Projet Education, plus particulièrement dans des régions où une forte inertie thermique s'impose et qui s'avèrent déficitaires en granulats (pour le béton) et en terre géotechniquement convenable (pour la terre compressée stabilisée).

5.c Conclusion

On voit sur ces projets à court terme en adobéton la place centrale qu'y occupent les constructions scolaires et l'importance de la formation dans la mise en oeuvre.

Ceci implique sans doute, pour les constructions par entreprise classique, l'introduction de clauses particulières dans le cahier des charges comme, notamment, une exigence de stabilité des maçons sur le chantier.

Mais si, comme dans l'opération FAVRESC, le souci de formation devient aussi important que l'impératif de construction, alors il faut aller plus loin qu'une simple adap-

tation du cahier des charges et réaliser un montage approprié des opérations, ses principales caractéristiques étant les suivantes :

- * calendrier en phase avec le rythme du village (et donc des saisons),
- * opérateur unique ayant la responsabilité de l'animation villageoise, de la formation et de la qualité de l'exécution, donc
- * choix d'un opérateur moins soumis qu'une entreprise classique à des impératifs de rentabilité immé-

diante (ONG, projets, associations, etc...),

- * introduction de spécifications particulières concernant l'encadrement de chantier et son appui.

Le développement de l'adobéton - et d'autres techniques HIMO à base de matériaux locaux - passe autant sans doute par le respect de ces conditions que par les différentes actions de diffusion et de vulgarisation que l'on peut entreprendre. □

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) "Documents normatifs de l'adobéton et de l'adobrique"
Michel MARTIN
LPEE 1990 / EIER 1992.
8 pages (Cahier des Prescriptions Techniques) + 11 pages (Cadre du Bordereau des Prix) + 84 pages, dont 43 de figures (Recommandations Constructives)
[Une version actualisée est en préparation].
- (2) "Architectures et Technologies Africaines Contemporaines"
Michel MARTIN, René SCHÄRER, Jean-François TERRET
http://www.refer.org/faso_ct/accueil2.htm (Rubrique « Technologie »)
Octobre 1997
[Il y a une soixantaine de photos et une dizaine de figures. Attention au temps de chargement si vous voulez tout voir !]
- (3) "Blocs de terre comprimée : équipements de production"
Hugo HOUBEN, Vincent RIGASSI, Philippe GARNIER
Editions du Centre pour le Développement Industriel ACP-CEE à Bruxelles
1994 - 149 pages.
- (4) "Un matériau pour les constructions rurales : la brique bi-couche"
Jean-Michel GRESILLON, V.DOURTHE
E.I.E.R. Bulletin Technique N°7
Juin 1981 - 32 pages.
- (5) "Suivi du prototype adobéton de 1989 à El Kalaa des Sraghna"
Toufiq MAHYAOUI, Mohammed EL KOTBI
Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (L.P.E.E.) Casablanca (Maroc)
Janvier 1995 - 13 pages.
- (6) "L'adobéton, c'est super-banco !"
Michel MARTIN, Amidou OUEDRAOGO
Film de sensibilisation tourné en HI8 et dupliqué en PAL
Avril 1997 - 12 minutes.
- (7) "Adobéton et habitat péri-urbain de moyenne densité"
Michel MARTIN
Communication au Séminaire Habitat II à Istanbul
Juin 1996 - 4 pages.
- (8) "Vers une ingénierie de l'habitat péri-urbain ?"
Michel MARTIN
E.I.E.R. - Formation continue "Habitat Economique Amélioré"
Avril 1997 - 7 pages.
- (9) "Construction d'une maison-témoin en adobéton"
Michel MARTIN, Sidiki COULIBALY
E.I.E.R. 1994
74 pages + 28 pages d'annexes.