HAL open science

# Marrakech 87. Habitat en terre

Patrice Doat, Hubert Guillaud, Josep Esteve, Hugo Houben, Pascal Rollet, Pierre-Eric Verney

**To cite this version:**

Patrice Doat, Hubert Guillaud, Josep Esteve, Hugo Houben, Pascal Rollet, et al.. Marrakech 87. Habitat en terre. CRATerre, pp.253, 1987, 2-906901-02-4. hal-03162253

**HAL Id: hal-03162253**

**https://hal.science/hal-03162253**

Submitted on 8 Mar 2021

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

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

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

# MARRAKECH 87
# HABITAT EN TERRE

CRATerre-EAG

CRATerre

CRATerre - EAG
BP 2636
38036 GRENOBLE Cedex 2
Tél. 76.40.66.25. - Fax 76.22.72.56

Ouvrage reproduit et broché par Imprimerie GUIRIMAND, Grenoble, France
Maquette réalisée par H. Dias da Silva, A. Isnard, P. Rollet
1re édition à 500 exemplaires
Dépôt légal novembre 1987

**CRATerre**

**MARRAKECH 87 - HABITAT EN TERRE**

253 pages

Editions CRATerre, Grenoble, novembre 1987
Couverture : dessin Dias da Silva,
hélio d'après un projet de Mamoun Zagrouj, Ouarzazate
1re édition, 500 exemplaires

ISBN 2-906901-02-4

© CRATerre, Grenoble, France, novembre 1987

Aux termes de l'article 40 de la loi du 11 mars 1957 "toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite". L'article 41 de la même loi n'autorise que "les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et "les analyses et courtes citations", "sous réserves que soient indiqués clairement le nom des auteurs et la source".
Toute représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, sur support papier, magnétique, optique ou autre, ne respectant pas la législation en vigueur, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et 429 du Code Pénal.

ISBN 2-906901-02-4

G1

2389-1
Grenoble

# MARRAKECH 87
# HABITAT EN TERRE

**RESPONSABILITE TECHNIQUE**
REXCOOP : D. BIAU
SECRETAIRE GENERAL DU REXCOOP

**RESPONSABILITE SCIENTIFIQUE**
CRATERRE : P. DOAT

**AUTEURS**
CRATERRE : H. GUILLAUD,
ET : P. DOAT, J. ESTEVE, H. HOUBEN, P. ROLLET, P. E. VERNEY

**ILLUSTRATIONS, MAQUETTES, DACTYLOGRAPHIE**
CRATERRE/EAG : H. DIAS DA SILVA, A. ISNARD, P. ROLLET

**AUTRES AUTEURS ET CONTRIBUTIONS**

ERAC-TENSIFT : M. NAFAKH LAZRAQ, DIRECTEUR DE L'ERAC-TENSIFT
M. AMINE KABBAJ, RESPONSABLE DU DEPARTEMENT DES ETUDES

MAITRISE D'OEUVRE : A. CHEKKOURI, A. CHORFI, M. LARAKI,
A. SIGELMASSI

ASSISTANCE A LA MAITRISE D'OEUVRE : J.V. BERLOTTIER,
R. CHAREYRE, J.L. PAGNIER, P. WAGNER, N. WIDMER

GAITERRE : J. HMAMMI, A. KABBAJ, M. KERGREIS, M. LARAKI,
M. LATIFI

DCTC/CTB : M. M'BARKI, DIRECTEUR DE LA DCTC,
H. ALAOUI, M. MARTIN

LPEE : A. BOUALIL

BET PROMOCONSULT : S. BENYAHIA, M. BOUHABDOU

ENTREPRISES : A. KARRAKCHOU (SOTRECI), E. MOUYAL (ERCT),
S. MOUYAL (SBBM), Y TAZI (PMCT)

ASSISTANCE TECHNIQUE : A. ACCETTA,
J. GUMBAU (TERRE ET SOLEIL), D. TURQUIN (ALTECH PACT 500)

CENTRE INTERNATIONAL DE LA CONSTRUCTION EN TERRE - CRATerre DOCUMENTATION

Cet ouvrage a fait l'objet d'un financement du Plan-Construction
dans le cadre du Programme Interministériel REXCOOP
(lettre de commande n° 86-56/05 du 7.7.86)

**Editions CRATerre**
GRENOBLE, FRANCE, NOVEMBRE 1987

## TABLE DES MATIERES

PREFACE

DANIEL BIAU, SECRETAIRE GENERAL DU PROGRAMME REXCOOP ..... 5

I - AVANT-PROPOS

1. M. NAFAKH LAZRAK, DIRECTEUR DE L'ERAC-TENSIFT ..... 7
2. M. M'BARKI, DIRECTEUR DU CONTROLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION ..... 8
3. LE CRATERRE (CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE ET D'APPLICATION TERRE) ..... 10

II - AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

1. REGLES ESSENTIELLES DE L'ART DE BATIR EN TERRE ..... 13
2. PATHOLOGIE ET RECOMMANDATIONS ..... 14
3. PRINCIPES DE SOLUTIONS ARCHITECTURALES ..... 16

III - AIDE A LA PRODUCTION DES MATERIAUX

1. SPECIFICATIONS TECHNIQUES POUR CHACUNE DES FILIERES ..... 35
1.1. EXIGENCES DE QUALITE DES TERRES EMPLOYEES : SPECIFICATIONS GENERALES, TOUTES FILIERES TERRE CONFONDUES ..... 35
1.2. SPECIFICATIONS TECHNIQUES DETAILLEES RELATIVES AUX FILIERES TERRE DEVELOPPEES ..... 40

2. CARACTERISTIQUES DES BLOCS DE TERRE COMPRIMES, PLEINS, STABILISES ..... 54

3. MATERIEL ET OUTILLAGE POUR CHACUNE DES FILIERES ..... 61
3.1 BILAN DES MATERIELS RECENSES ..... 61
3.2 LES PRESSES ..... 61
3.3 LES MALAXEURS ..... 65
3.4 LES COFFRAGES ..... 67
3.5 LES FOULOIRS PNEUMATIQUES OU "DAMES" ..... 69

4. L'ASSISTANCE TECHNIQUE SUR LES MATERIELS DE PRODUCTION : PRESSES ET MODERNISATION DU PISE ..... 72
4.1 LA MODERNISATION DE LA PRODUCTION DES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE ..... 73

IV - BILAN DE L'AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

1. L'AIDE A LA CONCEPTION DES PROJETS ..... 83

2. L'EVOLUTION DES PROJETS ..... 89
2.1 LE PROJET AIT OURIR ..... 90
2.2 LE PROJET HAY AL MASSIRA ..... 99
2.3 LE PROJET KOUTOUBIA ..... 110

V - BILAN DE L'AIDE A LA PRODUCTION DES MATERIAUX ET A L'EXECUTION DES CHANTIERS

1. LE MATERIAU : BILAN DES ANALYSES ET ESSAIS ..... 119

1.1 BILAN MATERIAU DE L'OPERATION AIT OURIR TERRE ..... 119
1.2 BILAN MATERIAU OPERATION HAY AL MASSIRA ..... 126

2. L'ORGANISATION ET LE SUIVI DES CHANTIERS PROTOTYPES ..... 133

3. LE CONTROLE ET LE SUIVI TECHNIQUE. AGREMENT ET DEMARCHE PROGRESSIVE ..... 139
3.1 AGREMENT ET CONSTRUCTION EN TERRE ..... 139
3.2 LA DEMARCHE PROGRESSIVE ..... 143

VI - BILAN DES ASPECTS ECONOMIQUES : ETUDE D'EVALUATION TECHNICO-ECONOMIQUE ET ANALYSE DES COUTS

1. ETUDE D'EVALUATION TECHNICO-ECONOMIQUE ..... 147
1.1 CONCLUSIONS GENERALES DE L'ETUDE ..... 147
1.2 PRESENTATION DETAILLEE DE L'ETUDE ..... 151

2. ANALYSE DES COUTS ..... 167

2.1 OPERATION PROTOTYPES AIT OURIR TERRE ..... 167
2.2 OPERATION PROTOTYPES HAY AL MASSIRA TERRE ..... 172

## VII - LES PREMIERS ENSEIGNEMENTS DE L'OPERATION

1. LES APPORTS DE L'OPERATION..... 175

2. LES LIMITES DE L'OPERATION..... 184

3. LE POINT DE VUE DES PARTENAIRES..... 193

3.1 LE MAITRE D'OUVRAGE : L'ERAC-TENSIFT..... 193
3.2 LA MAITRISE D'OEUVRE..... 196
3.3 LA DCTC-CTB (DIRECTION DU CONTROLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION-CENTRE TECHNIQUE DU BATIMENT)..... 199
3.4 LE LPEE (LABORATOIRE PUBLIC D'ESSAIS ET D'ETUDES)..... 202
3.5 LE BUREAU D'ETUDES PROMOCONSULT..... 205

## VIII - LA DYNAMIQUE DES PROJETS TERRE

LE CENTRE DE FORMATION AUX METIERS DE MONTAGNE DE TABANNT..... 211

OPERATION BNI DAREK, UNE OPERATION NATIONALE DE CONSTRUCTION EN TERRE..... 216

L'OPERATION DE TAN-TAN DE L'OMNIUM MAROCAIN DE PECHE (OMP)..... 222

## IX - ANNEXES

A.1. LE PROGRAMME INITIAL DE L'OPERATION..... 229
A.2. PARTENAIRES DE L'OPERATION ET ADRESSES UTILES..... 231
A.3. BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE..... 235

# PREFACE

---

**Daniel BIAU, secrétaire général du programme REXCOOP**

---

L'opération "Marrakech-habitat en terre" a été engagée en 1983 dans la ligne du "Domaine de la Terre" dont le chantier venait de s'ouvrir dans la ville nouvelle de l'Isle d'Abeau, près de Lyon. Ces deux opérations parallèles avaient pour objectif principal de revaloriser et d'actualiser des architectures locales, grâce à une modernisation de techniques ancestrales devenues obsolètes. Elles visaient à ouvrir l'éventail des possibilités offertes aux concepteurs contemporains de logements sociaux, en démontrant, sur deux sites particuliers, les qualités des constructions en terre et en évaluant les conditions de leur adaptation aux contraintes de l'habitat individuel urbain.

Les deux opérations de l'Isle d'Abeau et de Marrakech reposaient sur la mobilisation de nombreux partenaires : architectes, entreprises moyennes, bureaux d'études et de contrôle et bien-sûr maîtres d'ouvrage et services techniques de l'administration (le Plan Construction en France, la DCTC au Maroc). De ce fait, elles ont connu bien des vicissitudes et n'ont pas été livrées dans les délais prévus initialement. Mais elles ont néanmoins permis de dégager de nombreux et précieux enseignements, dont l'ouvrage du CRATerre fait la synthèse, tant pour la conception que pour la réalisation des bâtiments.

"Marrakech-habitat en terre" a aussi fourni l'occasion d'une étroite et fructueuse coopération entre organismes marocains et français, publics et privés, illustrant ainsi dans l'action concrète l'esprit du programme REXCOOP.

Nous retenons de cette expérience les difficultés auxquelles le matériau terre doit faire face pour retrouver une place dans la construction urbaine, dès lors que l'on recherche une certaine durabilité de l'habitat.

Primo : pour construire en terre il en faut ! (de la terre de bonne qualité). C'est dire qu'il faut disposer, à proximité du chantier, d'une terre convenable et en quantité suffisante. A Marrakech, ce n'est pas si facile...

Secundo : pour construire correctement en terre il faut savoir l'utiliser : un savoir-concevoir et un savoir-bâtir spécifiques sont indispensables.

Et la terre ne pardonne pas les erreurs. Mal maîtrisée, elle peut donner lieu à de graves désordres et à d'importants surcoûts. La terre est un matériau noble au sens où elle requiert et valorise des compétences professionnelles ; encore faut-il qu'existent ces compétences...

Le but fondamental de cet ouvrage est justement de diffuser des connaissances pratiques destinées aux concepteurs et aux techniciens du bâtiment, et de favoriser ainsi la diversification technique qui fait tellement défaut dans nombre de pays en développement.



## AVANT-PROPOS

### 1 - M. MOHAMED ALAMI NAFAKH LAZRAK, DIRECTEUR DE L'ERAC-TENSIFT

L'ERAC-Tensift, établissement public voué à l'aménagement de terrains et à la construction de logements et plus particulièrement de logements économiques a mené depuis 1982 une expérience sur la construction en terre.

Cette expérience a connu le jour avec la convention que l'ERAC-Tensift a passé avec le REXCOOP dans le cadre de la réalisation de 60 logements et équipements en terre à Marrakech et Ait Ourir.

La construction en terre au Maroc, et plus particulièrement à Marrakech, est une expérience plus que millénaire.

La construction en terre, bien-entendu modernisée par cette expérimentation, a été vue comme un tremplin pour l'ERAC-Tensift dans le domaine du logement économique au moindre coût.

L'ERAC-Tensift dans ce processus, a su et pu drainer tout un mouvement de la construction en terre à Marrakech et au Maroc par le biais d'un nombre important de rencontres et de débats sur ce sujet. La plus importante fut celle des 25 et 26 avril 1986 consacrée d'une manière plus générale aux "matériaux locaux" mais où la "vedette" était la terre (le matériau terre était l'élément principal).

L'objectif de l'ERAC-Tensift visait aussi à mettre en place une structure légale dans le domaine de la construction en terre.

Sans oublier l'énergie dépensée durant ces quatre années par l'ERAC-Tensift et toutes les personnes mêlées de près ou de loin à cette opération, il reste encore à combattre certains blocages tant administratifs que techniques avant que ce mode de construction ne puisse se développer d'une manière harmonieuse et sans contrainte.

Monsieur NAFAKH LAZRAQ MOHAMED ALAMI
Directeur de l'Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction de la région du Tensift Marrakech.

## 2 - M. M'BARKI, DIRECTEUR DU CONTROLE TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

Le royaume du Maroc est particulièrement concerné par la construction en terre.
Elle constitue, en effet, un patrimoine ancien et important dans notre pays ; il n'est pas nécessaire de rappeler l'ampleur des réalisations en terre qui peuvent être observées au Maroc. La construction en terre appartient à notre culture.
Mais elle est aussi une actualité vécue par un grand nombre de citoyens ; les opérations telles que Daoudiat ont permis, dès les années 60, de loger un grand nombre de personnes en faisant appel aux techniques traditionnelles du pisé et de l'adobe mais fortement modernisées.

Confronté à un déficit en logements très important, le Maroc, et plus en particulier, le Ministère de l'Habitat, doit mettre en place des politiques techniques de la construction diversifiées ; la construction en terre se présente comme l'une des alternatives possibles, et les efforts doivent être poursuivis pour mettre au point et développer cette filière originale de production de bâtiments.

L'introduction de techniques alternatives doit suivre des protocoles clairement définis pour éviter les contre-performances fâcheuses pouvant mettre en péril de façon irréversible la technique proposée.
L'insertion du Programme Interministériel Français Rexcoop, a permis de dynamiser l'ensemble du programme de construction envisagé à Marrakech.
L'opération a été suivie par les services techniques du Ministère de l'Habitat : la Direction du Contrôle Technique de la Construction et le Centre Technique du Bâtiment.

Sur le plan stratégique, on retiendra en premier lieu de cette opération, les processus organisationnels qui doivent être mis en place pour introduire la construction en terre dans la partie organisée du secteur de la construction en terre. En effet, l'adoption de techniques anciennes (mais modernisées) par les entreprises de construction se heurtait à certaines difficultés dont la principale résidait dans le caractère incertain de l'équilibre financier de l'opération, compte tenu des marges de sécurité prises par les différents intervenants. Nous disposons maintenant, après la réalisation de quelques chantiers prototypes, de bases solides pour une consultation fructueuse des entreprises.



Il reste maintenant au promoteur, en l'occurence l'ERAC-Tensift, à valoriser ces acquis, à réaliser l'intégralité de l'opération dans les meilleures conditions possibles et à témoigner ainsi de la validité de la construction en terre dans le secteur organisé.

Les pouvoirs publics pour leur part, ont désormais inclu la construction en terre parmi les moyens de réduction du déficit en logements. Mais la situation du Maroc est telle que le seul secteur organisé ne peut, du moins pour l'instant, faire face aux besoins qui sont immenses en regard des capacités de production.

De cette observation est née l'idée d'une opération de plus grande envergure : c'est l'Opération Nationale de Construction en Terre dans les Provinces du Sud. Caractérisée par une volonté de promotion du secteur informel, elle vise à promouvoir la construction en terre modernisée en milieu rural par le recours à l'autoconstruction encadrée sur le plan technique par le Ministère de l'Habitat et ses services extérieurs. Nous fondons de grands espoirs sur cette opération qui devrait générer, en plus des logements, de nombreuses actions de formation et d'encadrement utiles dans la promotion et la mise en valeur du monde rural.

En conclusion de cet avant-propos, il est important de rappeler que les énergies canalisées par le renouveau de la construction en terre depuis de nombreuses années se sont avérées, sur un plan global, judicieusement employées.
Certes, le nombre de constructions modernes réalisées par cette filière reste relativement réduit en regard des productions classiques ; mais le renouveau, puisque tel était le but à atteindre, du moins dans un premier temps, semble effectif.

Tant au Maroc que dans les autres pays, l'intérêt pour cette technologie va croissant ainsi que le démontrent les nombreuses opérations promotionnelles déjà réalisées.
Les pouvoirs publics marocains, désormais sensibilisés, mettront tous leurs moyens en oeuvre pour la réussite de ces initiatives qui sont porteuses d'espoirs pour les populations.
1987, Année Internationale des Sans-Abris, devrait, je l'espère, voir se généraliser, dans tous les pays de tradition comparable au nôtre, des opérations de construction en terre.

M. M'BARKI
Directeur du Contrôle Technique de la Construction

## 3 - Le CRATerre (Centre International de Recherche et d'Application Terre).

## UNE OPERATION D'UN APPORT DECISIF

La construction achevée des prototypes d'habitat en blocs de terre comprimée sur le site de Hay Al Massira et des autres prototypes en pisé sur le site de Ait Ourir, permet de tirer de nombreux enseignements qui confirment l'apport décisif de l'opération Rexcoop "Marrakech Habitat en Terre" à plusieurs égards.

L'opération était fondamentalement destinée à initier la relance de l'emploi du matériau terre dans le secteur organisé de la construction, cela dans le cadre d'une action à long terme de redynamisation des filières de matériaux locaux. A ce titre, l'opération devait contribuer à sensibiliser et à mobiliser l'ensemble des opérateurs de la filière de construction organisée, soit, un organisme de maîtrise d'ouvrage, des architectes, un ou des bureaux d'études, des entreprises locales et les organismes techniques et administratifs du contrôle de la construction marocaine. Sur ce plan, on peut constater un réel succès qui a été confirmé par un investissement à un haut niveau de l'ensemble du partenariat trés directement sollicité.

Pour ce qui concerne les résultats obtenus au plan technique et administratif, on doit considérer l'apport de l'opération comme primordial. S'agissant d'apporter une contribution efficace au déploiement d'une stratégie d'intégration des filières matériaux locaux dans l'économie de la construction marocaine, la mise au point et le rodage de procédures de contrôle et de suivi technico-administratif totalement nouvelles et fondamentalement adaptées à une légitimation des pratiques opérationnelles de la construction en terre, apparaît effectivement comme l'acquis le plus positif de cette Rexcoop-Terre. En effet, les procédures de maîtrise d'ouvrage et de contrôle de qualité des matériaux, des produits et des dispositions constructives qui ont été élaborées dans le cadre de cette opération, avec le contrôle permanent de l'Administration du contrôle technique de la construction (DCTC), et le concours du maître d'ouvrage de l'opération, du LPEE et du Bureau d'Etudes Promoconsult, apparaîtront sans doute comme étant d'un apport décisif. Ces procédures nouvelles inaugurent la formulation de recommandations qui confortent la possibilité d'obtenir des agréments, auprès de l'administration du contrôle technique de la construction, pour certains types de matériaux et de dispositions constructives qui ont donné toute satisfaction dans cette opération expérimentale. Ces procédures



d'agrément sont désormais indispensables pour concrétiser un engagement décisif des opérateurs de l'acte de bâtir, et plus précisément des entreprises, acteur clef, dans la faisabilité opérationnelle de la nouvelle filière terre marocaine et plus largement des filières matériaux locaux.
Sur un plan technique et architectural plus strict, l'opération aura eu le mérite de permettre une réelle innovation. D'une part en confirmant la faisabilité, en secteur formel, des filières de construction en blocs de terre comprimée et en pisé, moyennant des adaptations indispensables sur le plan des investissements en matériel de production des entreprises (achat de presses à blocs de terre, de banches et de moyens de damage plus performants, etc.). D'autre part en permettant d'expérimenter un catalogue de dispositions architecturales et constructives (systèmes fondations-murs, murs-planchers, murs-ouvertures, murs-toitures, par exemple) et de modes d'exécution réellement innovant par rapport aux pratiques de construction en terre traditionnelles et qui ont d'ores et déjà la caution technique de l'administration du contrôle technique de la construction. L'expérimentation permet de s'engager sur la voie d'une certaine modélisation technique du projet de construction en terre et de sa mise en oeuvre.

Sur le plan économique, les résultats obtenus ne peuvent être décemment pris en compte en ignorant l'importance de la charge d'expérimentation et de la lenteur d'exécution dûes aux inévitables tâtonnements de la recherche et de l'innovation. On doit ici rappeler le rôle décisif qu'a joué l'ERAC-Tensift en acceptant d'assumer la charge de cette expérimentation. Les coûts obtenus, malgré l'inertie de l'opération, doivent être considérés comme trés prometteurs dans la perspective d'une dynamisation et d'un rodage de la nouvelle filière de construction en terre organisée dont le Maroc doit pouvoir et peut désormais se doter à moyen terme en explorant et développant les voies qui ont pu être initiées grâce à cette Rexcoop Terre de Marrakech.

Enfin il faut rappeler ici que l'investissement, dans cette Rexcoop terre, de l'ensemble des partenaires marocains et plus particulièrement de l'Administration assurant le contrôle de la qualité de la construction est fondamental. Les engagements de l'Administration en faveur de l'établissement rapide de recommandations et de codes de la construction en terre, et en attente, de procédures d'agrément, doivent être trés vite concrétisés au risque, dans le cas d'une inertie de réponse, d'anéantir tous les efforts de travail qui ont été déployés au cours de ces dernières années autour de cette opération. En effet, seule la caution de l'Administration qui serait manifestée par la production de ces textes spécifiques, au-delà des intentions formulées et des préfigurations de textes techniques, sont à même de déverouiller le

blocage d'investissement des entreprises, des bureaux de contrôle et des assurances qui ne peuvent jusqu'alors, en l'absence de textes spécifiques à la construction en terre que s'en référer aux normes en vigueur (DTU maçonnerie) malheureusement inadaptées. Il y a là un engagement décisif à prendre pour garantir la faisabilité future de la construction en terre au Maroc.

CRATerre



# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## 1 - REGLES ESSENTIELLES DE L'ART DE BATIR EN TERRE

### L'architecture comme stabilisant

La qualité d'une architecture de terre dépend pour l'essentiel de la maîtrise de la conception architecturale. C'est en renouant avec une tradition du "**savoir concevoir**" et en exploitant les bénéfices d'une technologie actuelle que l'on pourra produire une architecture de terre de grande qualité.
Plusieurs dictons régionaux rappellent avec sagesse qu'une maison en terre bien conçue peut endurer les siècles sans dommage et les architectures de terre traditionnelles le prouvent sans ambiguité.

On est malheureusement souvent forcé de constater que ce "**savoir architectural**" est éclipsé par un nouveau savoir que l'on dénommera ici le "**savoir-blinder**". La tendance actuelle fait davantage appel à l'ingéniérie, parfois très sophistiquée, en vue d'accroître la résistance à l'eau de la "**terre**", ignorant la démarche qui consiste à rendre le "**bâtiment**" résistant à l'eau et ainsi intégrer le concept "**d'architecture comme stabilisant**". Notre propos vise essentiellement à développer une méthode de conception adaptée à la fragilité du matériau.

Le blindage des constructions en terre est très souvent un costume cache-misère : on cherche à dissimuler les erreurs d'une mauvaise conception architecturale. Adopter cette démarche du blindage, c'est faire preuve d'une ignorance des possibilités de protection qu'offre une architecture adaptée aux performances réelles du matériau. Certains préfèrent blinder le matériau, croyant prendre toutes les garanties contre la fragilité de la "**terre**" et se dispensent par là d'une réflexion en amont, plus globale, au stade de la conception architecturale du "**bâtiment**".

De plus, la démarche de blindage du matériau que décrivent par exemple une stabilisation de la terre dans sa masse ou une imperméabilisation totale de l'enveloppe bâtie tend, le plus souvent, à sophistiquer la production et la mise en oeuvre du matériau (multiplication des stades de production) et donc à augmenter inévitablement le coût global de la production du bâtiment.

Au-delà d'une bonne conception architecturale, les règles essentielles de l'art de bâtir en terre peuvent être résumées en cinq points :

-la connaissance du matériau, de ses caractéristiques et de ses propriétés fondamentales (choix d'une terre appropriée),
-la connaissance des particularités de la technique de construction employée : construire en adobe, en bloc compressé ou en pisé en connaissance de l'outillage adapté et des modes de mise en oeuvre spécifiques,
-l'adoption de systèmes constructifs simples et compatibles avec les modes de travail du matériau (résistance à la compression, faiblesse à la traction, à la flexion et au cisaillement),
-l'adoption des principes de conception, de solutions techniques et architecturales propres aux architectures de terre avec une protection des parties de l'édifice particulièrement exposées aux agents de dégradation (eau, chocs, p.e.),
-une exécution soignée des ouvrages.

## 2 - PATHOLOGIE ET RECOMMANDATIONS

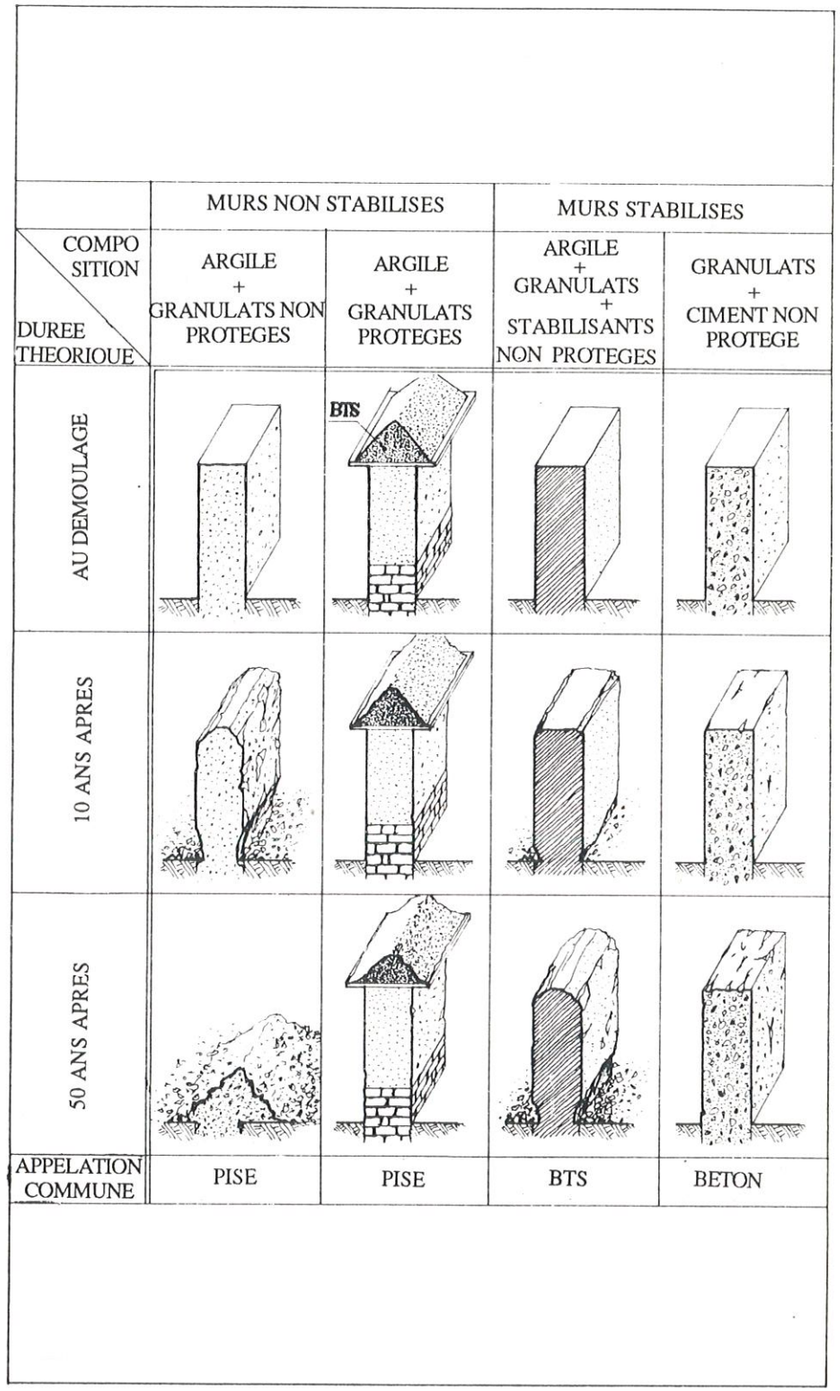
En basant une aide à la conception architecturale sur l'observation pathologique, nous voulons relever l'importance d'une démarche de conception qui développe simultanément un "**savoir-concevoir**" et un "**savoir-bâtir**" appropriés au matériau.

L'observation attentive des architectures de terre laisse apparaître **3 points faibles** principaux :
- **la base du mur**
- **le haut du mur**
- **quelques points faibles très localisés.**

Ces parties de l'édifice sont celles qui sont les plus rapidement altérées lorsqu'elles sont mal conçues. Il s'agit là d'un constat pathologique universel. La partie moyenne du mur est moins sensible aux principaux agents de dégradation, sauf en quelques points très localisés : tableaux des ouvertures, angles extérieurs, saillies, gargouilles.

Les solutions traditionnelles mises en oeuvre par les bâtisseurs anciens ou même contemporains (nouvelle architecture en terre de la vallée du Dadès, p. e.), pour traiter ou pour prévenir cette pathologie classique, décrivent un catalogue de systèmes et d'éléments constructifs des plus variés. Ces systèmes sont très souvent d'une ingéniosité de conception et d'une efficacité remarquable. C'est particulièrement vrai en ce qui concerne les systèmes de protection des bâtiments tels que "**chapeaux**" sur les acrotères des terrasses, soubassements élevés en pierre, ou dans le traitement architectural du détail, bandes d'enduit





hautes à la chaux, au taddelakt, protection basse des angles en pierre ou par renforts de terre saillants, tableaux des baies enduits au mortier de plâtre ou de chaux, protection par le décor et la modénature : peintures, corniches de briques, de tuiles vernissées, zelliges, plâtre décoré, etc...

Les enseignements de la tradition architecturale marocaine sont d'une richesse infinie. Les solutions de protection de nature architecturale adoptées par les bâtisseurs anciens et toujours employées par les constructeurs en terre contemporains doivent être connues des concepteurs et des maîtres d'oeuvre actuels. La perdurance de cette tradition d'une conception architecturale adaptée au matériau terre est tout à fait compatible avec la technologie actuelle. Il suffit que cette technologie soit utilisée de façon réfléchie, en connaissance des propriétés et des caractéristiques du matériau terre pour tendre vers une architecture de terre contemporaine d'une grande qualité.

## 3 - PRINCIPES DE SOLUTIONS ARCHITECTURALES

L'étude des phénomènes pathologiques les plus remarquables et leur illustration par différents cas patents, permet de bien situer les principaux points faibles d'un bâtiment en terre. Ainsi mis en garde, les concepteurs et les bâtisseurs sauront adopter des solutions de protection qui mettent le bâtiment à l'abri des principaux agents de dégradation.

Les solutions de protection les plus efficaces sont avant tout celles qui relèvent du traitement architectural : protéger le "**bâtiment**" plutôt que seulement le "**matériau**", "**bien concevoir**" et "**bien bâtir**" plutôt que "**blinder**" l'architecture.

La tradition de construction en terre marocaine a élaboré, au fil des siècles, tout un ensemble de solutions de protection remarquablement efficaces. Nous rappelons ici l'ensemble des principes de protection architecturale des points fragiles des bâtiments en terre qui furent et sont encore adoptés par les bâtisseurs marocains (cf illustrations suivantes). Il s'agit là de relever l'importance capitale du "**bien concevoir**" et d'en tirer des enseignements pour une réactualisation valorisante de la technique, dans un contexte de production des bâtiments et pour des objectifs tout autres, actuels.

L'attrait des architectures de terre et les inquiétudes qu'elles peuvent inspirer sont liés à l'image sociale qu'elles restituent : du palais au plus modeste abri. Mais, le comportement social de l'apparence ne dissimule pas l'habileté ou la négligence du bâtisseur. Le plus

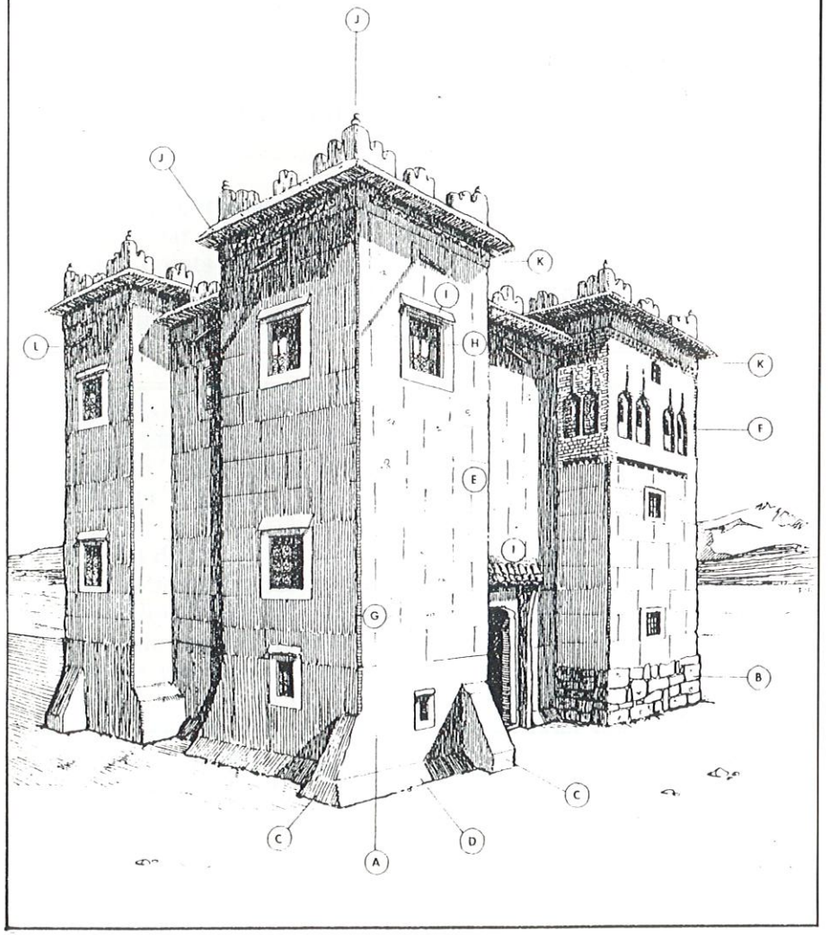


fastueux décor est parfois un cache-misère et la nudité pudiquement voilée d'une grande beauté. Les murs de terre nus et miséreux sont ce qu'ils sont et peuvent ne plus être. Un matériau fragile doit sans cesse prouver ses possibilités. Le matériau terre pâtit de son emploi irraisonné qui occulte la confiance que peut inspirer son emploi réfléchi. Lorsque les règles essentielles de l'art de bâtir en terre sont respectées, le matériau n'est pas honteux.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

schéma théorique de bonne conception architecturale






PROTECTION ARCHITECTURALE D'UN BATIMENT EN TERRE

Légende du schéma théorique de bonne conception architecturale

PROTECTION DE LA BASE DU BATIMENT

A. Soubassement enduit

B. Soubassement en pierre

C. Renfort des angles en leur base

D. Forme de pente, évacuation de l'eau loin du mur

PROTECTION DU MUR

E. Calepinage des banchées de pisé

F. Calepinage des blocs compressés ou des adobes

G. Angles chanfreinés

PROTECTION DES OUVERTURES

H. Tableaux enduits

I. Solin haut débordant avec goutte d'eau

PROTECTION DU HAUT DU BATIMENT

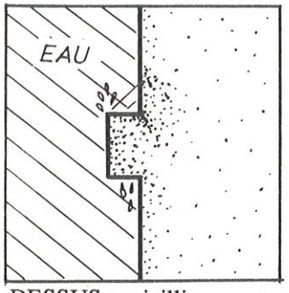
J. Chapeau débordant

K. Bande d'enduit haute ; protection par le décor et la modénature

L. Gargouille dépassante, protection du mur à la sortie de la gargouille

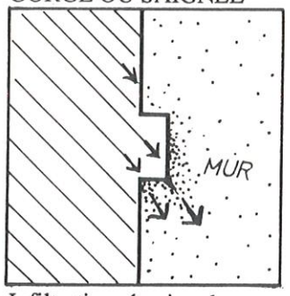
## ACTIONS DE L'EAU : PATHOLOGIE HUMIDE

ELEMENTS EN SAILLIE
(corniche, modénature)



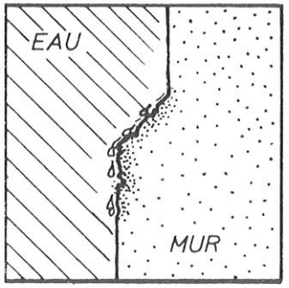

DESSUS : rejaillissement
DESSOUS : ruissellement, absorption, érosion et creusement

GORGE OU SAIGNEE



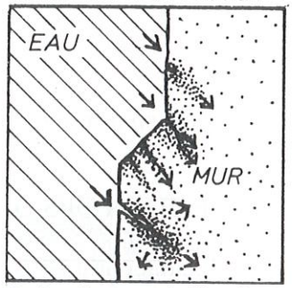

Infiltration, érosion de surface, creusement

CONTREFORT



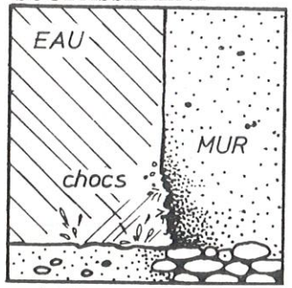

Ruissellement de surface, érosion

CONTREFORT FISSURE



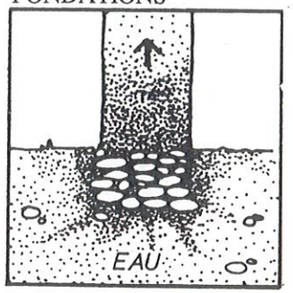

Ruissellement, infiltration dans fissures : infiltration, érosion, creusement

BAS DU MUR SANS SOUBASSEMENT




Rejaillissement, érosion, creusement, affaiblissement de la structure

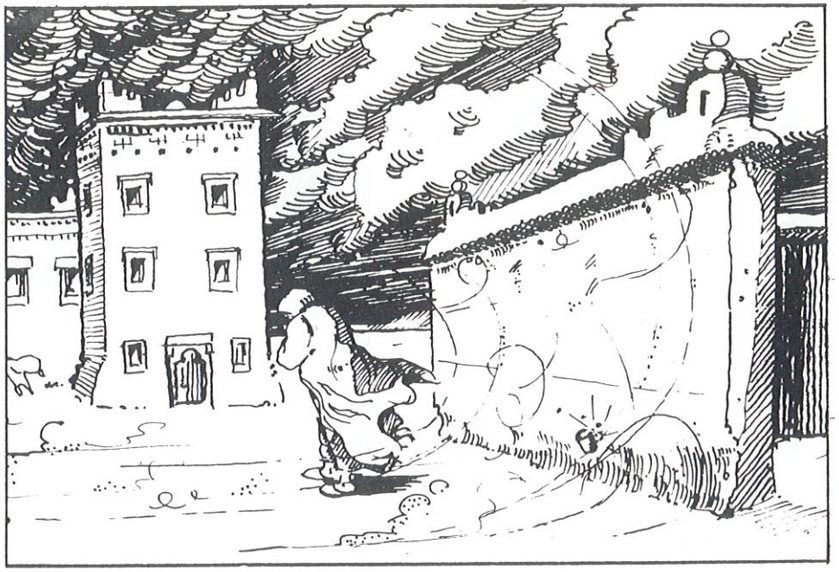
BAS DU MUR FONDATIONS




Remontées capillaires, forte pathologie humide, affaiblissement de la structure

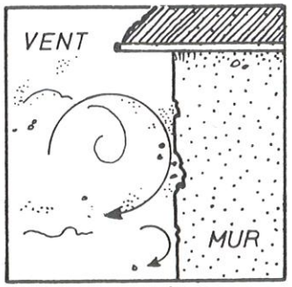


## ACTION DU VENT : EROSION



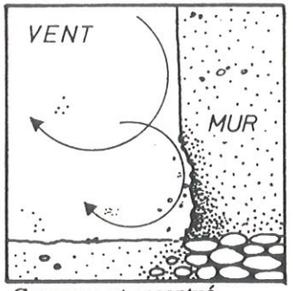
L'action du vent crée des turbulences au voisinage des bâtiments. Ces turbulences sont particulièrement actives à la base et au sommet des murs. L'érosion peut être accentuée par l'impact d'objets transportés.

HAUT DU MUR




Erosion accentuée par la présence d'une corniche saillante

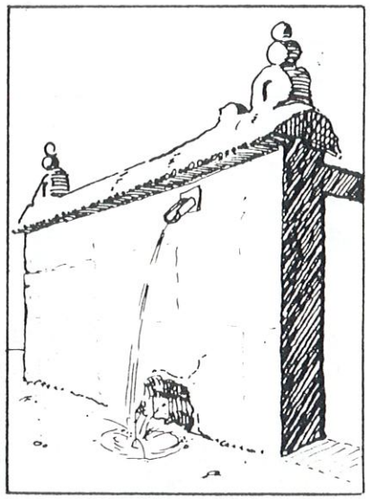
BAS DU MUR




Creusement accentué sur matériau déjà humide

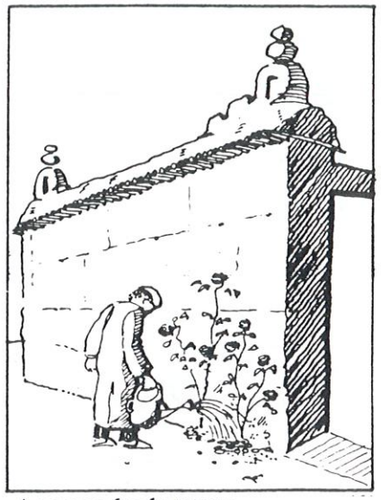
## BAS DU MUR

REJAILLISSEMENT



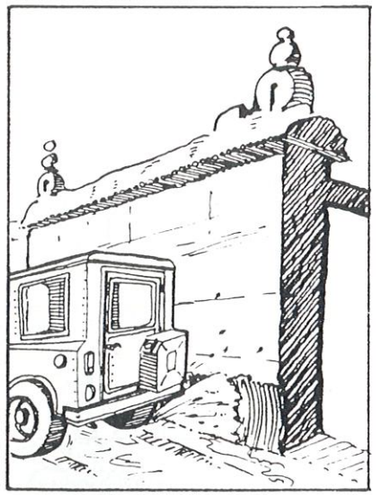
Jet de gargouille au pied du mur non protégé, érosion, creusement

REJAILLISSEMENT



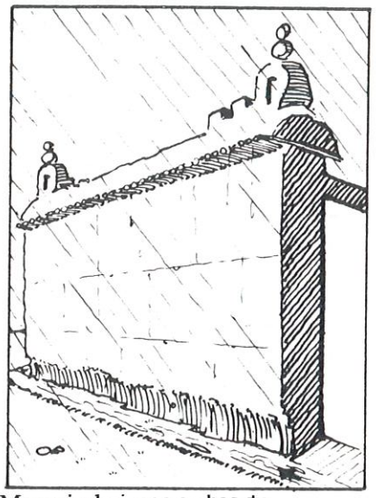
Arrosage de plantes au voisinage du bas du mur : humidité, érosion, creusement

REJAILLISSEMENT



Passage de véhicules sur terrain humide : rejaillissement, érosion, creusement

RUISSELLEMENT



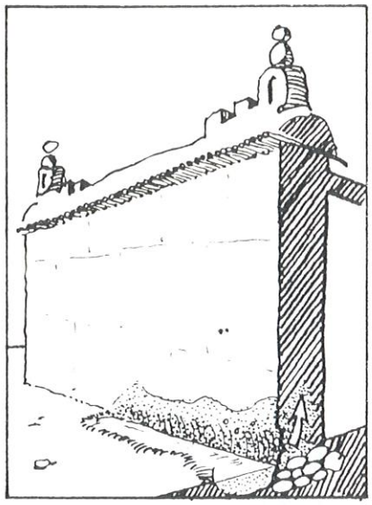
Mauvais drainage au bas du mur non protégé, action dynamique de l'eau, érosion, creusement

AFFAIBLISSEMENT STRUCTURAL



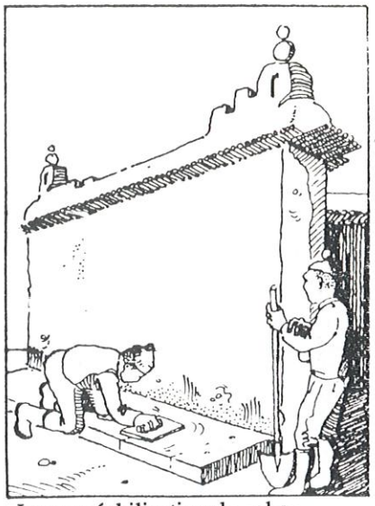
## BAS DU MUR

REMONTEES CAPILLAIRES



La stagnation d'humidité au bas du mur accentue le risque de creusement et d'affaiblissement structural

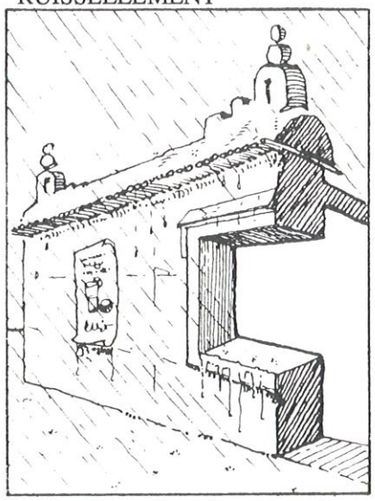
REMONTEES CAPILLAIRES ET REJAILLISSEMENT



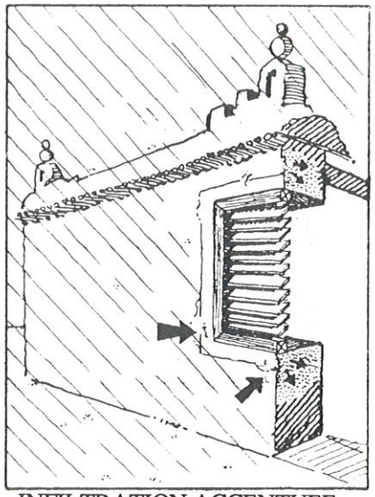
Imperméabilisation du sol au bas du mur (trottoir) risque de rejaillissement et barrière à l'évaporation de l'humidité accumulée

OUVERTURE

RUISSELLEMENT

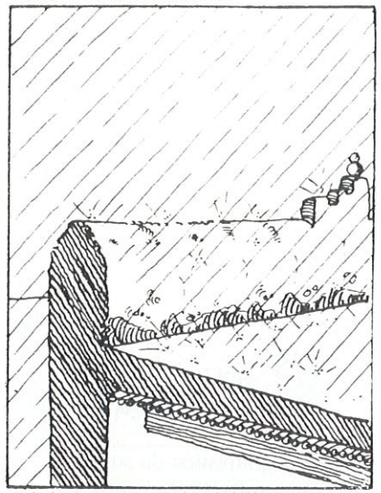


Action dynamique du système de la goutte d'eau accentué au voisinage des tableaux d'ouverture : ruissellement, infiltration, creusement



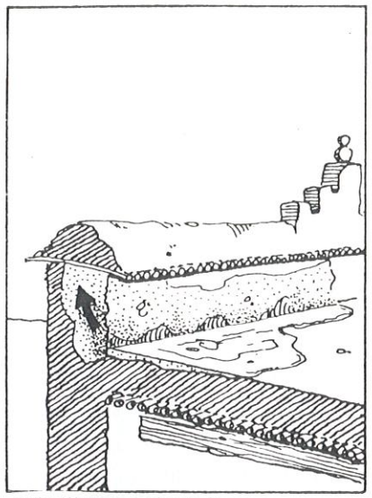
INFILTRATION ACCENTUEE A L'INTERFACE DE LA LIAISON ENTRE LES MATERIAUX (BOIS TERRE-ENDUIT)
Absorption, diffusion capillaire par infiltration, érosion et creusement

REJAILLISSEMENT



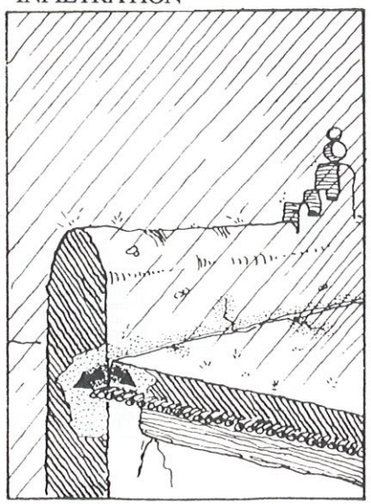
Pluie battante qui rejaillit contre la base non protégée de l'acrotère : creusement

INFILTRATION



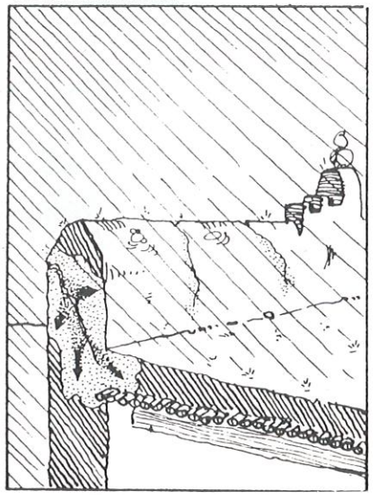
Décollement d'enduit sous chapeau d'acrotère : diffusion capillaire de l'humidité

INFILTRATION



Fissure structurale à la liaison terrasse-acrotère : infiltration, diffusion capillaire, creusement, risque d'effondrement

INFILTRATION

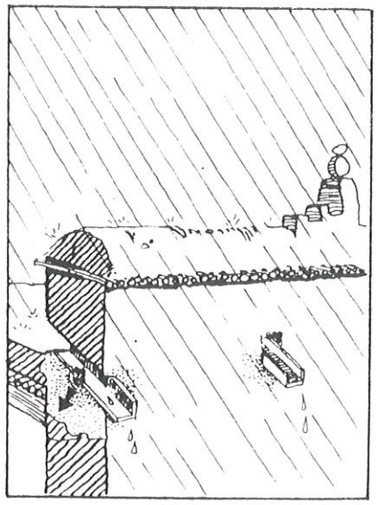


Acrotère non protégé et fissuré : infiltration et diffusion capillaire, érosion et creusement, risque d'effondrement partiel



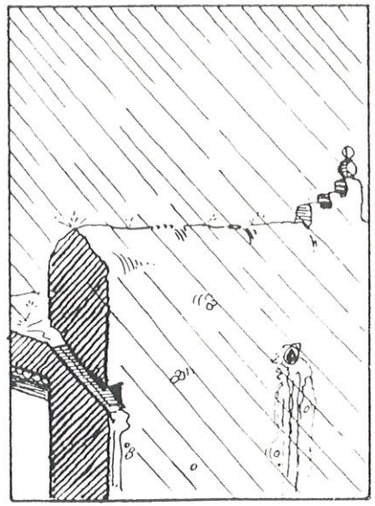


RUISSELLEMENT



Mauvaise conception des gargouilles : débord inexistant, protection étanche au départ et en sortie de gargouille inexistante, érosion et creusement

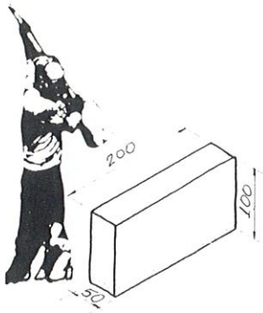
INFILTRATION



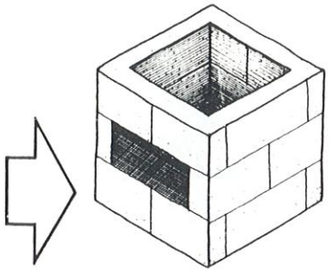
Gargouilles dégradées dans l'épaisseur du mur et non protégées à leur déverse : infiltration cachée + ruissellement, érosion, creusement, affaiblissement structural et risque d'effondrement du système mur-toiture

# LE PISE

IDENTIFICATION DES TYPES CONSTRUCTIFS POSSIBLES
A PARTIR D'UN MEME ELEMENT DE CONSTRUCTION

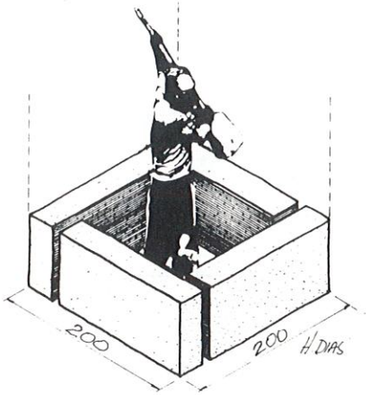



LE MODULE DE BASE DU PISE : LA BANCHEE



TAILLE D'UN MODULE DE BASE DANS UNE CONSTRUCTION

LE PLUS PETIT ASSEMBLAGE EST ENCORE UN ESPACE

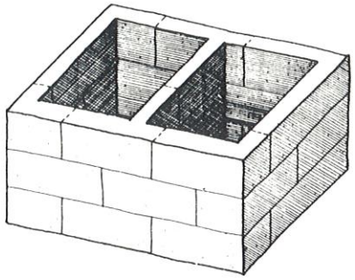





# LES MURS

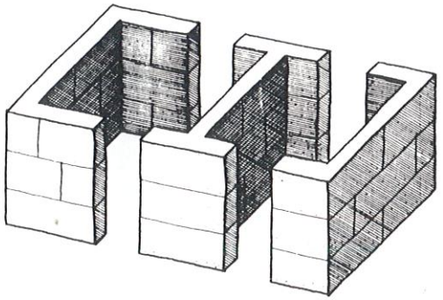
L'EMPILEMENT APPAREILLE D'ELEMENTS DE BASE PERMET DE RECONSTITUER UNE MASSE HOMOGENE. TROIS TYPES DE STRUCTURES SONT ENVISAGEABLES

L'ENVELOPPE MONOLITHIQUE



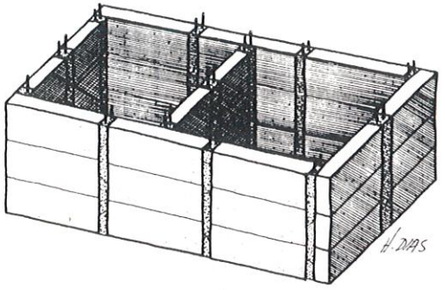
LE BATIMENT EST COMPOSE DE MURS PERIPHERIQUES ET REFENDS CONTINUS QUI FORMENT UNE ENVELOPPE MONOLITHIQUE

LES MURS A REDANS ET CONTREFORTS



LE BATIMENT EST COMPOSE DE BLOCS INDEPENDANTS AUTOSTABLES

LES TRUMEAUX INDEPENDANTS JUXTAPOSES

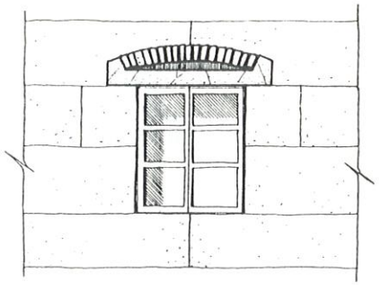



LE BATIMENT EST COMPOSE DE TRUMEAUX INDEPENDANTS SOLIDARISES PAR UN AUTRE

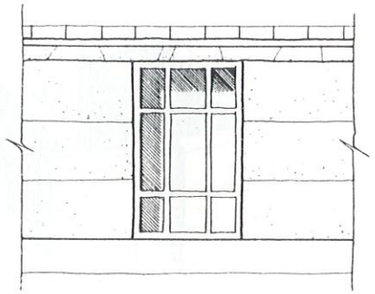
# LES OUVERTURES

ELLES SE FERONT SUR LES DEUX MODES DU PERCEMENT DANS LA MASSE ET DU REMPLISSAGE D'UN VIDE (EXISTANT OU CREE PAR L'ENLEVEMENT D'UN ELEMENT PLEIN)

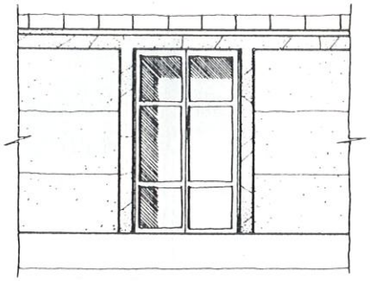
PERCEMENT DANS LA MASSE DU MUR



REMPLISSAGE DU VIDE ENTRE DEUX BLOCS AUTOSTABLES



REMPLACEMENT D'UN TRUMEAU PLEIN PAR UN VIDE

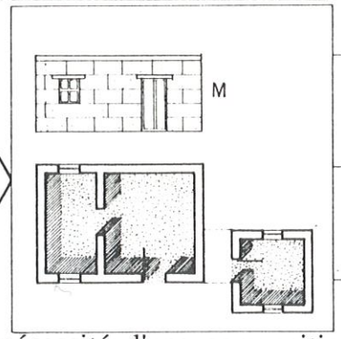


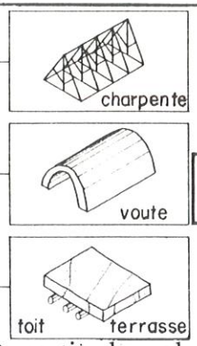
H. DIAS



| LES RESSOURCES DU PLAN | LES COUVERTURES |
|---|---|

L'ESPACE EST CONTENU (TRAVAIL SUR L'ENVELOPPE)

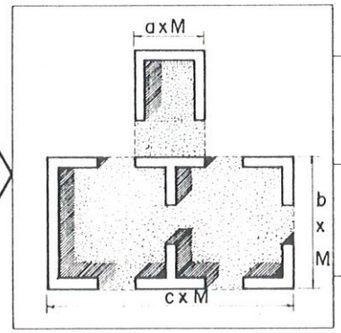


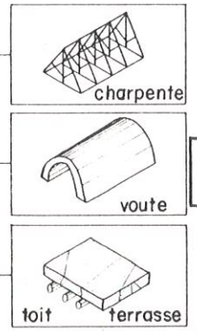




nécessité d'une composition à partir de volumes simples facilitant l'appareillage des banches

IMPORTANCE DE LA CONCEPTION EN 3 DIMENSIONS

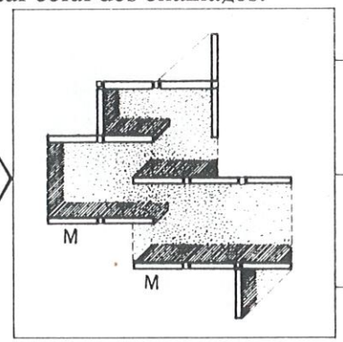
L'ESPACE EST CERNE (TRAVAIL SUR LES FRONTIERES)

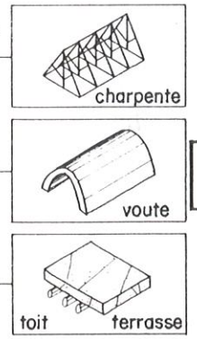



juxtaposition de blocs dont il faut seulement vérifier les correspondances. Peu de problèmes en élévation sauf celui des chainages.

L'ESPACE EST FLUIDE (TRAVAIL SUR LES LIMITES)



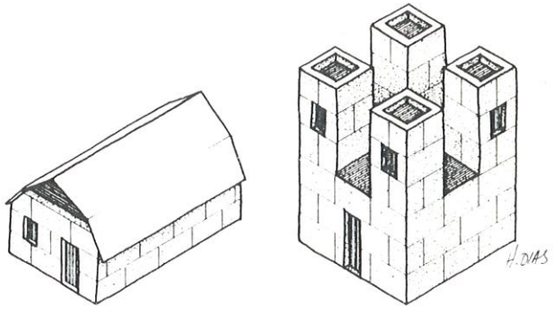




juxtaposition de pans de murs autostables. Aucun problème en élévation sauf liaison avec toiture.

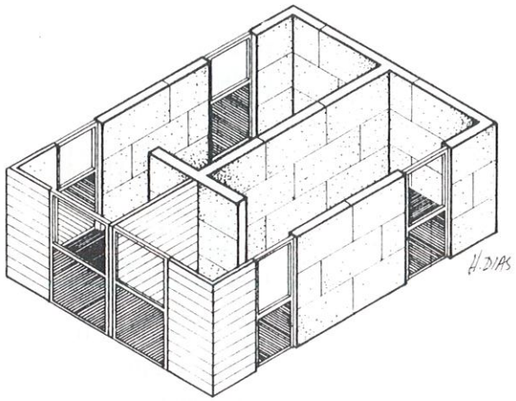
H. DIAS

# EXEMPLES DE MISE EN FORME ARCHITECTURALE

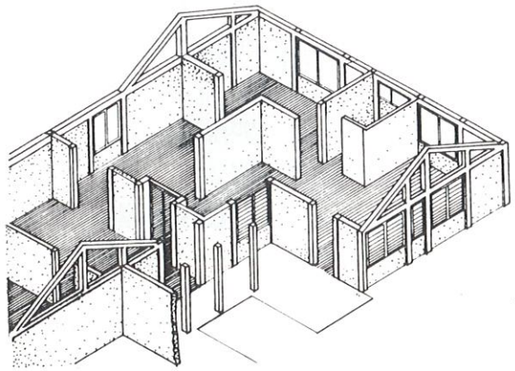
FERME DAUPHINOISE TRADITIONNELLE
KSAR MARROCAIN (MARRAKECH)




VILLAGE TERRE ISLE D'ABEAU (ILOT F. JOURDA ET PERRAUDIN, ARCHITECTES)




MAISON D.EASTON

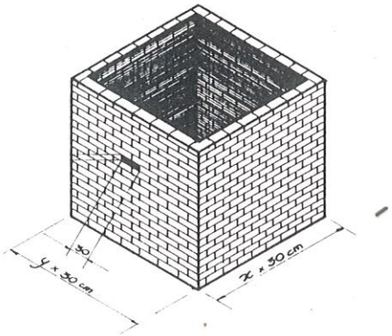




# MACONNERIE DE BRIQUES

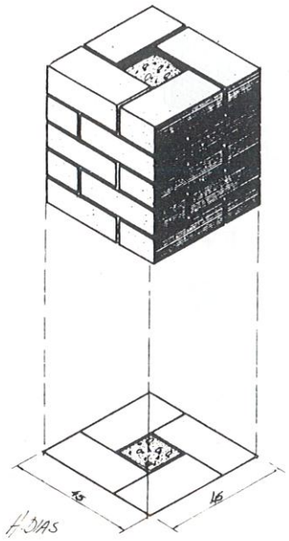
IDENTIFICATION DES TYPES CONSTRUCTIFS POSSIBLES A PARTIR D'UN MEME ELEMENT DE CONSTRUCTION

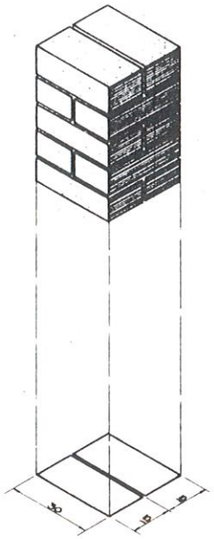
LE MODULE DE BASE : LA BRIQUE




LE PLUS PETIT ASSEMBLAGE POSSIBLE EST UN ELEMENT DE CONSTRUCTION : UN POTEAU

TAILLE D'UN MODULE DE BASE DANS UNE CONSTRUCTION



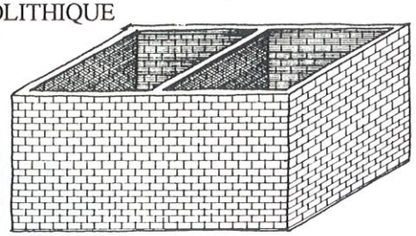



# LES MURS

L'EMPILEMENT APPAREILLE D'ELEMENTS DE BASE PERMET DE RECONSTITUER UNE MASSE HOMOGENE. QUATRE TYPES DE STRUCTURES SONT ENVISAGEABLES.

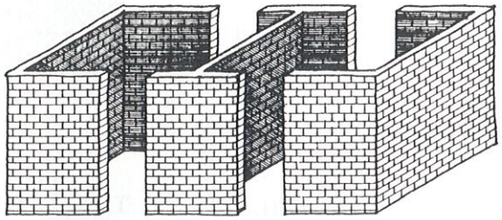
**L'ENVELOPPE MONOLITHIQUE**

LE BATIMENT EST COMPOSE DE MURS PERIPHERIQUES ET REFENDS CONTINUS QUI FORMENT UNE ENVELOPPE MONOLITHIQUE



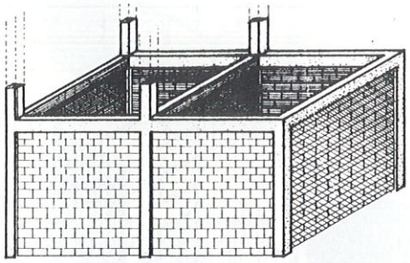
**LES MURS A REDANS ET CONTRE-FORTS**

LE BATIMENT EST COMPOSE DE BLOCS INDEPENDANTS AUTOSTABLES



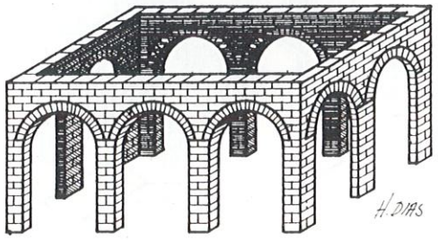
**REMPLISSAGE D'UNE OSSATURE POTEAUX POUTRES (BETON, ACIER, BOIS)**

OSSATURE PORTEUSE + MACONNERIE DE REMPLISSAGE



**OSSATURE POTEAUX ET ARCS**

OSSATURE PORTEUSE EN BRIQUE + REMPLISSAGE

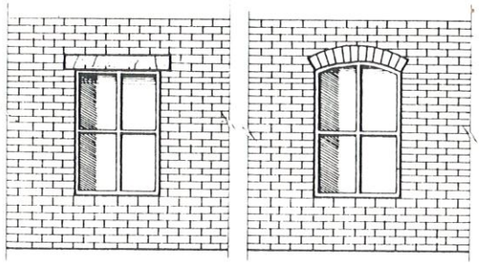




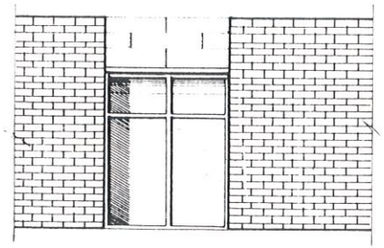

# LES OUVERTURES

ELLES SE FONT SUR LES DEUX MODES DE PERCEMENTS DANS LA MASSE ET DU REMPLISSAGE D'UN VIDE EXISTANT ENTRE DEUX OUVRAGES DE MACONNERIE

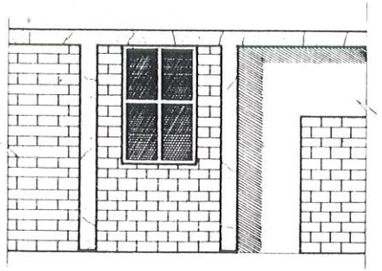
**PERCEMENT DANS LA MASSE DU MUR**



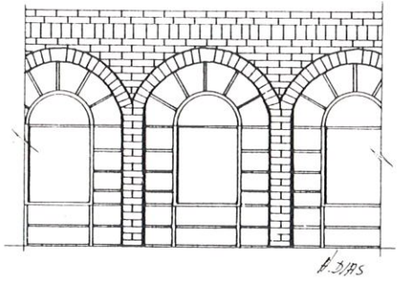
**REMPLISSAGE DU VIDE ENTRE DEUX BLOCS AUTOSTABLES**

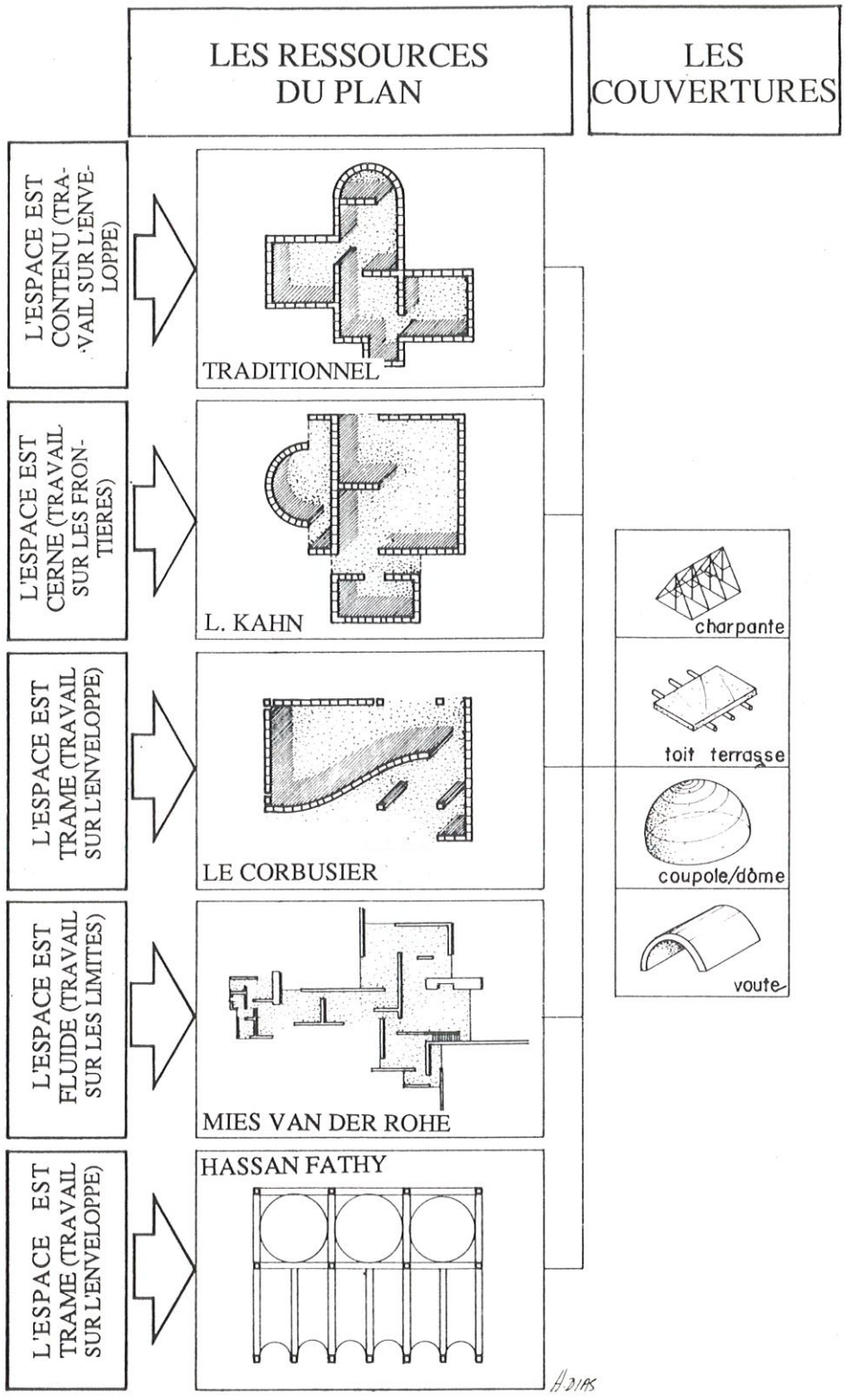


**PERCEMENT DANS UNE MACONNERIE REMPLISSAGE ENTRE UNE OSSATURE BETON**



**IDEM AVEC OSSATURE ARC, VOUTE, DOME**








## AIDE A LA PRODUCTION DES MATERIAUX

## 1 - SPECIFICATIONS TECHNIQUES POUR CHACUNE DES FILIERES

### 1.1 EXIGENCES DE QUALITE DES TERRES EMPLOYEES : SPECIFICATIONS GENERALES, TOUTES FILIERES TERRE CONFONDUES

**Avertissement général**

. La qualité des terres répondra aux critères de convenance qui sont spécifiques aux matériaux et produits du type pisé non stabilisé et blocs comprimés pleins stabilisés. Ces critères de convenance sont établis par la littérature technique, notamment dans les ouvrages ou documents suivants :

-CONSTRUIRE EN TERRE, CRATerre, éditions Alternatives, Paris, 1979, 1983, 286 pages.

-RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION DES BATIMENTS DU VILLAGE TERRE, AGRA (Association Grenobloise de la Recherche Architecturale, Plan Construction, Ministère de l'Urbanisme et du Logement, Paris, 1982, 205 pages.

-EARTH CONSTRUCTION PRIMER, CRATerre, Houben Hugo, Guillaud Hubert, UNCHS-Habitat, 362 pages, 1984, version française publiée aux éditions Parenthèses sous le titre TRAITE DE CONSTRUCTION EN TERRE (fin 1987, début 1988).

**Spécifications générales**

. Les terres utilisables pour la production de matériaux en terre destinés à la construction ne peuvent pas être d'origine végétale ou organique.

. Les terres utilisables doivent être impérativement prélevées au-dessous de l'horizon superficiel du sol qui est décapé avec soin et écarté.

. Les terres utilisables proviennent des horizons structuraux ou d'altération du sol. Elles sons débarrassées de leurs résidus organiques et excédents humiques, de tous détritus et cailloux d'un diamètre excessif (diamètre variable selon le type de matériau en terre

mis en oeuvre (cf. critères de convenance des terres pour chaque filière spécifiques).

. Les terres utilisables peuvent provenir d'une carrière de "terre franche" répondant aux plages des critères de convenance ou être constituées par un mélange de terres différentes et complémentaires (au regard de leurs courbes granulométriques respectives). Elles peuvent aussi être issues d'un mélange dosé de diverses fractions granulaires, inertes et fines, extraites de différents gisements.

. Dans le cas où il est nécessaire d'améliorer les terres potentiellement utilisables, en optimisant leur composition texturale, on pratiquera les solutions suivantes :

-écrêtement des terres trop riches en cailloux et graves par épierrement et par criblage à la maille utile (au regard de leurs courbes granulométriques) ;
-tamisage à la maille correcte des terres trop riches en fines. Cette procédure est délicate à réaliser car elle présente le risque d'éliminer une trop grande quantité de fines. Il convient donc plutôt de réaliser un mélange des terres trop riches en fines avec des terres plus riches en éléments grossiers dont on s'assure qu'elles ne contiennent ni fines ni éléments d'un diamètre supérieur à la grosseur de grain maximale admissible. Les dosages sont déterminés au regard des courbes granulométriques respectives ;
-mélange des fractions granulaires différentes, en quantité utile, par malaxage. Cette troisième solution exige un contrôle rigoureux de la qualité et de la régularité de la fourniture provenant des différents gisements, ainsi que des dosages des différentes fractions de grains et du malaxage afin d'assurer l'homogénéité des mélanges. Le coût de production est généralement plus élevé pour cette troisième solution qui ne sera donc envisagée que si les deux premières solutions ne donnent pas satisfaction.

## Caractéristiques indispensable à connaître

. Dans tous les cas, quelles que soient les terres utilisées, les caractéristiques suivantes de ces terres doivent être indispensablement connues :
- la granularité
- la plasticité
- la compactibilité
- la composition chimique (*)

(*) Notamment pour les terres destinées à être stabilisées au ciment, en ce qui concerne leur teneur en matière humiques et en sulfates.



. Pour être utilisables, les terres doivent répondre, par rapport aux caractéristiques précitées à des critères de convenance qui sont spécifiques pour chaque filière que l'on entend développer. Au niveau des spécifications générales de convenance des terres, les critères de sélection sont décrits dans la littérature technique (cf. références citées en avertissement général). On trouvera par la suite un rappel général de ces critères décrits par les graphes joints de granularité, de plasticité et de compactibilité. Des critères de convenance plus précis sont décrits pour chaque filière spécifique (cf. pages suivantes).

. Composition chimique des terres : elle est indispensable à connaître lorsque l'on entend avoir recours à la stabilisation au ciment.

-matières organiques et humiques : elles sont reconnues comme nocives, particulièrement celles qui contiennent des composés tels que l'acide nucléique, l'acide tartrique ou le glucose. Ces composés peuvent, si ce n'est neutraliser l'action du ciment (pour de fortes teneurs en matières humiques), du moins ralentir la prise du ciment et abaisser la résistance de la terre stabilisée. En règle générale, une teneur en maitères organiques et humiques supérieure à 1 % constitue un risque et l'on n'utilisera pas les terres qui en contiennent plus de 2 %.

-sulfates : ils sont très néfastes, notamment le sulfate de calcium (anhydrite et gypse) que l'on rencontre fréquemment. Le sulfate de calcium peut détruire le ciment durci, à l'intérieur de la terre stabilisée au ciment et il peut contribuer à augmenter la sensibilité des argiles à l'humidité. Une étude spécifique pour les terres contenant plus de 2 à 3 % de sulfates est indispensable.

-oxydes et hydroxydes métalliques : ce sont essentiellement des oxydes de fer et d'aluminium dont la teneur est rarement supérieure à 5 % et qui n'ont, dans ce cas, que peu d'effet sur le comportement de la terre stabilisée au ciment.

. Nota bene : les spécifications générales sur la composition chimique des terres, sus-énoncées, concernent la stabilisation au ciment. L'action des composés humiques et des sulfates est peu sensible sur les terres stabilisées à la chaux. On peut en effet tolérer jusqu'à près de 20 % de matières organiques et humiques dans une terre destinées à être stabilisée à la chaux.

. Minéralogie : elle peut être importante à connaître pour les terres qui présentent une plasticité élevée afin de confirmer ou d'infirmer la présence d'argiles très sensibles au glonflement et au retrait : montmorillonites, par exemple.

## Contrôle des terres

. Le contrôle de la convenance des terres utilisables pour la production du pisé non stabilisé et des blocs comprimés pleins stabilisés, est assuré par le laboratoire d'analyse et d'essais ou par le bureau de contrôle désigné contractuellement par le maître d'ouvrage. Ce contrôle de la convenance des terres est assuré à tous les stades de la production et particulièrement au stade de l'extraction des terres, en carrière. Un contrôle périodique de la fourniture en terre peut être aussi envisagé sur les aires de production de matériaux : à la briqueterie ou chez les producteurs-fournisseurs, pour les blocs de terre, sur le chantier, pour le pisé.

. Le laboratoire d'analyses et d'essais ou le bureau de contrôle désigné par le maître d'ouvrage, compétent et mandaté pour assuré le contrôle de la convenance des terres utilisables effectuera les analyses d'identification suivantes :

- granularité : analyse granulométrique et analyse sédimentométrique
- compactibilité : essais Proctor
- plasticité : limites d'Atterberg
- analyse chimique : présence de matières organiques et humiques, de sulfates
- analyse minéralogique : présence d'argiles instables.

. Le laboratoire d'analyses et d'essais ou le bureau de contrôle mandaté désignera les carrières exploitables et veillera au suivi de la qualité des terres extraites utilisables en amont de leur acheminement vers les aires de production des matériaux ou vers les chantiers.

## Stockage des terres utilisables

. Pour faciliter la production des matériaux, il conviendra d'assurer le cubage de terre foisonnée utile à cette production, toutes filières confondues.

. Le laboratoire d'analyses et d'essais ou le bureau de contrôle désigné par le maître d'ouvrage assurera le contrôle de l'extraction et d'un stockage préalable de la quantité totale de terre nécessaire avant le début des opérations de production.

. Cette quantité totale de terre nécessaire sera acheminée, depuis la carrière, chez les producteurs de blocs de terre comprimés, stabilisés, ou vers les chantiers (pour le pisé).

. Le laboratoire d'analyses et d'essais ou le bureau de contrôle mandaté par le maître d'ouvrage, effectuera des contrôles de



convenance des terres, périodiques. La fréquence de ces contrôles est à définir entre les partenaires du contrôle et les producteurs de matériaux ou entrepreneurs de construction, et selon la périodicité des livraisons planifiée à l'avance.

. La fréquence du contrôle de la convenance des terres, à la carrière ou au départ du stock avant son acheminement vers les partenaires de l'opération commanditaires, sera assez serrée au début de la production des matériaux (à chaque livraison p. e.) et pourra être plus espacée pendant le plein fonctionnement de la production contrôlée des matériaux ou de l'exécution des chantiers (pour le pisé).

## 1.2 - SPECIFICATIONS TECHNIQUES DETAILLEES RELATIVES AUX FILIERES TERRE DEVELOPPEES

### A - PREAMBULE : DISTINCTIONS ESSENTIELLES

. Sont établies par la suite, les spécifications techniques détaillées pour les deux principales filières terre qui ont été développées dans le cadre de l'opération "Marrakech, habitat en terre" et qui peuvent servir de référence pour d'autres opérations.

- la filière pisé non stabilisé
- la filière blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés.

. Les spécificités de chaque filière sont précisées d'entrée par des critères de convenance des terres, spécifiques à chaque filière, où l'on retrouve l'exigence de connaissance des caractéristiques de granularité, de plasticité et de compactibilité propres à chacune des deux filières. Des plages de résultats attendus de ces caractéristiques sont représentées par des diagrammes spécifiques à chaque filière.

. Les exigences de qualité et de performance des matériaux de chaque filière sont précisées, d'une part :
-par rapport à la configuration des matériaux eux-mêmes qui les expose différemment aux sollicitations mécaniques appliquées :
. pisé non stabilisé : matériau monolithique
. bloc de terre comprimé, plein, stabilisé : matériau massif ;
d'autre part :
-par rapport aux sollicitations présumées que ces matériaux de configuration différente sont appelés à subir dans leur emploi en construction :
. maçonnerie de murs monolithiques épais (pisé) ou maçonnerie de murs minces ou épais, à éléments massifs (blocs de terre comprimés, pleins), essentiellement sollicitées en compression.

. Ainsi, au regard des considérations sus-exposées, les matériaux des différentes filières devront répondre à des exigences de niveaux différents :
-le pisé sera essentiellement soumis à des exigences de qualité d'exécution et de respect des règles de conception architecturale et de l'art de bâtir, adaptées au pisé ;
-les blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, seront essentiellement soumis à des exigences de résistance en compression sèche et humide minimale, et de respect des règles de conception architecturale et de l'art de bâtir, adaptées à ce matériau. Le test d'érosion par arrosage, indicatif, ne présente pas d'intérêt majeur ; le test de mouillage séchage (ASTM D 559 de la norme AASHO T 136) est considéré comme extrêmement sévère (par la majorité des grands organismes de contrôle



internationaux, en ce qui concerne les blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés ; par exemple, le LBTP de Côte d'Ivoire, le CSTB, l'EIER de Ouagadougou, Haute-Volta).

Pour ces blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, le respect des prescriptions d'aspect des blocs énoncées par la suite et les résultats de résistance en compression, sont un gage satisfaisant de qualité des matériaux.

. Les distinctions essentielles sus-évoquées ont été mesurées par rapport au type de recommandations actuellement appliquées sur le plan international dans le cadre de divers programmes de construction en terre, par rapport aux exigences de qualité des matériaux en terre contrôlées par divers laboratoires, organismes ou instituts de contrôle technique officiels, dont les procédures d'analyses et de tests font référence.

### B - FILIERE PISE NON STABILISE

#### Critères de convenance de la terre

. Les critères de convenance pour les terres qui sont destinées à la production de pisé sont précisés au regard des principales caractéristiques suivantes :
- granularité
- plasticité
- compactibilité.

. Ces principales caractéristiques sont illustrées par les trois graphes ci-joints extraits du document "Recommandations pour la conception des bâtiments du Village Terre", AGRA, Plan-Construction, op. cit., voir bibliographie.

#### Production du pisé

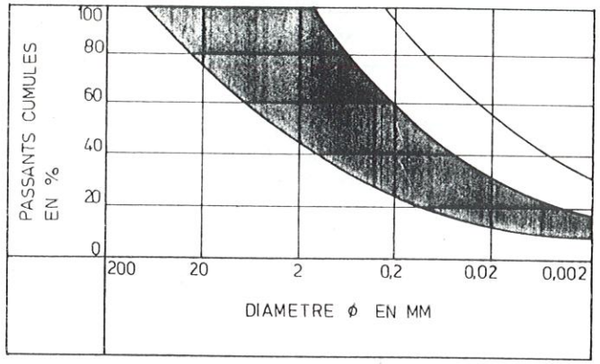
. Durant les différentes phases de production du pisé, on prêtera une attention toute particulière au contrôle de la convenance des terres au stade de l'extraction, à la trituration des terres (manuelle ou mécanique) au stade du froissage, à la qualité du compactage, ainsi qu'à la protection temporaire des ouvrages réalisés durant la phase chantier.

#### Exigences de qualité requises

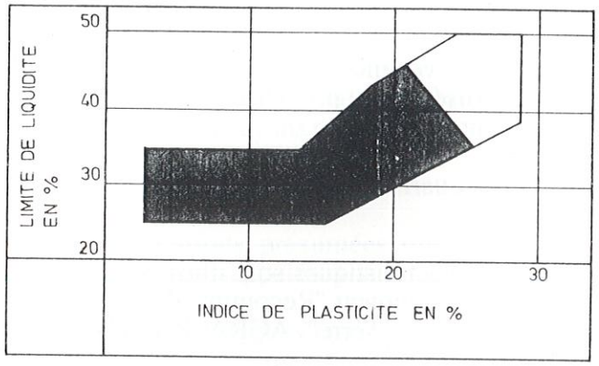
Qualité d'exécution
Les principaux critères de qualité d'exécution du pisé sont les suivants :

| CRITERES DE CONVENANCE DES TERRES | PISE |
|---|---|

GRANULARITE




PLASTICITE




COMPACTIBILITE

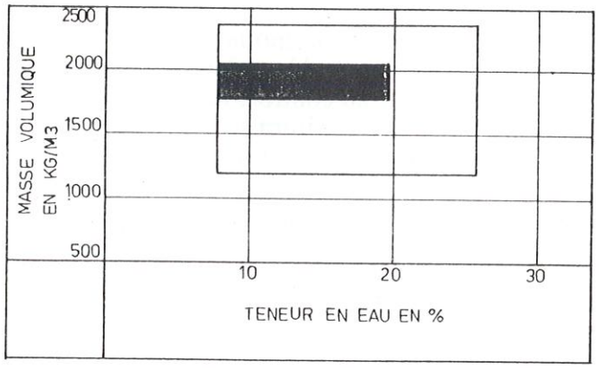
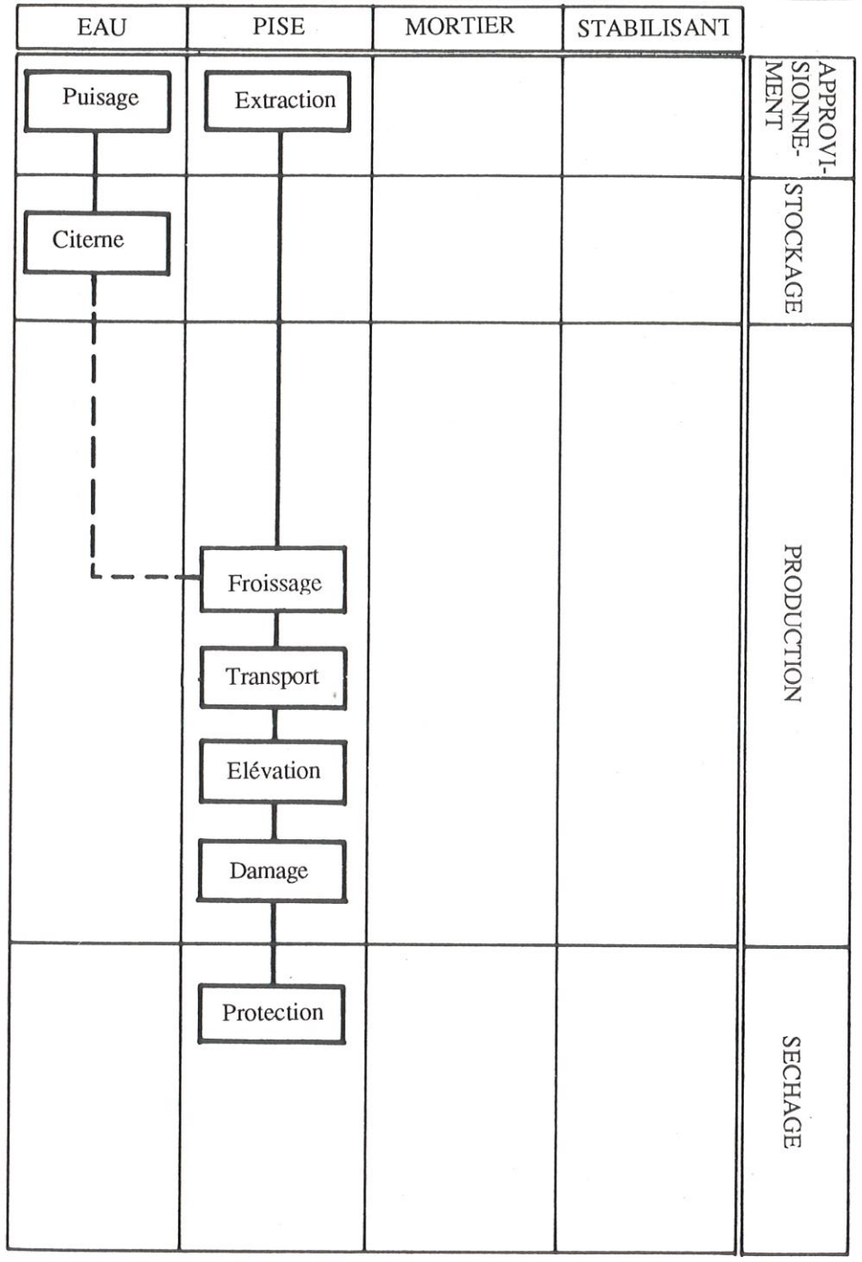
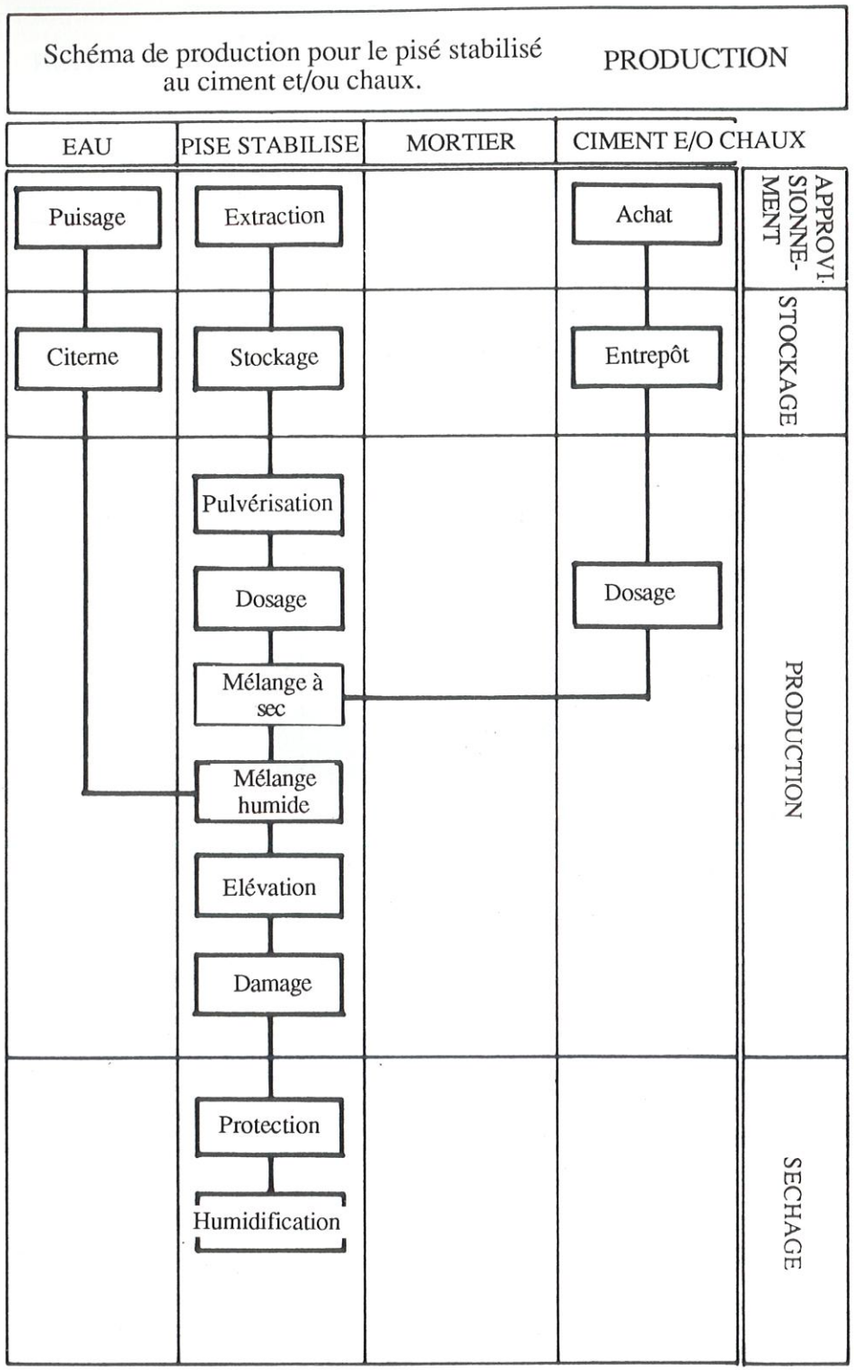





Schéma de production pour le pisé non stabilisé.
La terre est directement prélevée sur le site.

PRODUCTION








- qualité des gâchées de terre
- vérification de la teneur en eau
- mise en place du coffrage
- damage de la terre
- liaisons entre banchées successives
- décoffrage
- séchage
- protection
- etc...

## Contrôle de la teneur en eau

. Les terres utilisées pour la réalisation de pisé sont obligatoirement compactées à une teneur en eau proche de l'optimum obtenu à l'essai Proctor Standard, soit à 90-95 % de la TEO. On veillera à vérifier assez régulièrement la teneur en eau de la terre, pendant le chantier. La terre trop mouillée sera aérée par trituration manuelle (à la pelle) ou mécanique (motoculteur p.e.). La terre trop sèche sera réhumidifiée par légère aspersion, sans excès, jusqu'à obtenir une teneur en eau satisfaisante. On veillera à protéger le stock de terre, par bâchage, par temps très chaud et venté et après chaque journée de travail. Un léger arrosage par aspersion, avant bâchage précédant les nuits, peut être favorable au maintien d'une humidité de la terre satisfaisante.

## Densité sèche maximale

. On veillera à ce que les pisés réalisés atteignent une densité sèche maximale obtenue à la TEO ou à 90-95 % de la TEO comprise entre 1700 et 2100 kg/m3, généralement considérée comme satisfaisante. Les densités sèches maximales inférieures à 1700 kg/m3 sont considérées comme médiocres et insuffisantes.

## Résistance à la compression sèche

. Les pisés réalisés devront atteindre à 28 jours de séchage, une résistance à la compression sèche minimale de l'ordre de 2 Mpa. Cette résistance sera mesurée sur des échantillons représentatifs des conditions d'exécution.

## Conception architecturale adaptée

. les ouvrages en pisé ont une durabilité garantie pour l'essentiel par le respect des règles de conception architecturale et des règles de l'art de bâtir en terre.

. Ces règles essentielles de conception architecturale et de l'art de bâtir en terre ont été présentées dans la première partie de cette publication.

## Matériel de production pour le pisé

On se reportera aux chapitres suivants de cet ouvrage traitant des matériels de production et plus particulièrement aux chapitres traitant des coffrages et des outils de damage.

## C - FILIERE BLOCS DE TERRE COMPRIMES, PLEINS, STABILISES

### Critères de convenance de la terre

. Les critères de convenance pour les terres qui sont destinées à la production de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, sont précisés au regard des principales caractéristiques suivantes :
- granularité
- plasticité
- compactibilité.

. Les principales caractéristiques sont illustrées par les trois graphes ci-joints extraits du document "Recommandations pour la Conception des Bâtiments du Village Terre", AGRA, Plan-Construction, op. cit.

. Pour les blocs de terre comprimés pleins, stabilisés au ciment, on veillera à ce que la composition chimique des terres employées ne décrive pas :
- une teneur en matières organiques et humiques supérieure à 2 %
- une teneur en sulfates (sulfate de calcium notamment) supérieure à 3 %.

### Stabilisants

### Stabilisants conventionnels

### Ciment

Qualité des ciments

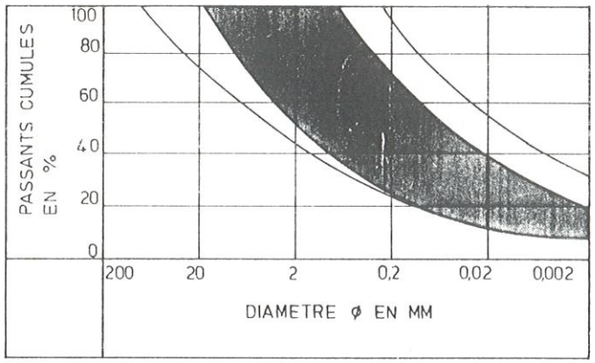
. Les ciments Portland ordinaires ou de classe analogue conviennent très bien.

. Il n'est pas utile d'employer des ciments à haute résistance qui n'apportent pas d'amélioration particulière et qui coûtent plus cher. Ainsi, dans le but d'obtenir un rapport qualité-prix acceptable, on conseillera d'éliminer l'utilisation du ciment CPA 45.

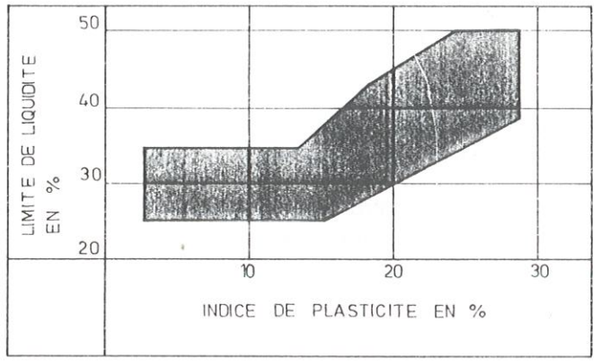


| CRITERES DE CONVENANCE DES TERRE | BLOC COMPRESSE PLEIN |
|---|---|

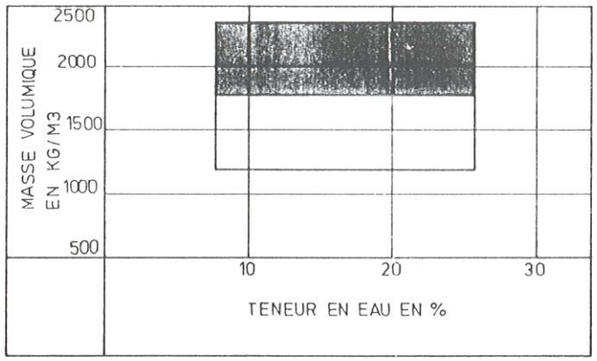
GRANULARITE




PLASTICITE




COMPACTIBILITE



. On préfèrera l'emploi des ciments de classe 250 ou 325 (CPA 250 - CPA 350).

. Les CPA avec constituants secondaires tels que CPAL (laitiers) ou CPAC (cendres) peuvent être employés selon leur disponibilité sur le marché.

. Les ciments trop riches en constituants secondaires, très délicats quant à leur cure, tels que CPF (Portland de Fer), CHF (Hauts Fourneaux), CMM (Métallurgique Mixte), CLK (Laitier au Clinker) seront rejetés.

. Les producteurs-fournisseurs de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés au ciment, prendront les précautions et mesures nécessaires pour que le ciment employé en stabilisation ne prenne pas l'humidité, ni ne soit éventé pendant son transport, sa manutention et son stockage.

. Les ciments qui, au moment de leur emploi, présentent dans leur masse des grumeaux, ou qui ne sont pas conformes aux normes usuelles relatives à la qualité des ciments seront rejetés.

. Les producteurs-fournisseurs de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés au ciment, indiqueront au laboratoire de contrôle, la nature et la provenance du ciment qu'ils souhaitent employer.

. Le laboratoire de contrôle est seul habilité à donner son agrément sur la qualité des ciments employés par les producteurs-fournisseurs de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés au ciment.

Dosage en ciment

. Le dosage en ciment sera précisé par rapport aux paramètres suivants :
- texture et structure des terres,
- amélioration de la résistance en compression sèche et humide,
- réduction des variations dimensionnelles en présence d'eau : gonflement au mouillage, retrait au séchage,
- amélioration de la résistance à l'érosion,
- seuil d'acceptabilité économique du dosage.

. En général, la meilleure efficacité du ciment est obtenue par une compression à l'état humide : à la TEO du Proctor Standard, ou à 90-95 % de la TEO du Proctor Standard.



. L'efficacité du ciment est aussi tributaire de la texture de la terre : les meilleurs résultats de résistance sont en général obtenus avec des graves et des sables plutôt qu'avec des silts et des argiles.

. Suivant les paramètres sus-précisés, les dosages usuels varient de 6 à 12 % et donnent des bons résultats. Mais certaines terres n'exigent que 2 à 3 %, dosage pour lequel d'autres terres peuvent se comporter moins bien que sans ciment.

. En général, il faut au moins 6 % pour obtenir des résultats satisfaisants.

. Les dosages en ciment seront donc affinés par rapport aux paramètres de qualité des terres locales, d'améliorations recherchées et d'économie. Cette optimisation des dosages sera réalisée en amont de la production définitive des produits, par les producteurs-fournisseurs sous contrôle de spécialistes ou du laboratoire d'analyses et d'essais désigné par le maître d'ouvrage.

## Chaux

Qualité des chaux

. Les chaux employées seront de qualité aérienne plutôt que de qualité hydraulique.

. Les chaux vives, directement produites par la cuisson de la pierre à chaux, sont très délicates à manipuler et à stocker, ce qui peut limiter leur emploi. Très avide d'eau, les chaux vives doivent être abritées de l'humidité. Le fort dégagement de chaleur produit en phase d'hydratation des chaux vives en fait un matériau agressif à manipuler avec grande précaution. Elles sont néanmoins plus efficaces que les chaux éteintes, à poids égal.

. Les chaux grasses, éteintes, ventilées (fleur de chaux ou chaux hydratée, ou chaux calcyde) auront la préférence. Pour être efficaces, les chaux aériennes éteintes ne doivent pas être broyées trop finement. On veillera à ce que la teneur en "chaux active" $Ca(OH)2$ des chaux aériennes éteintes, soit supérieure à 88 %. Cette remarque vaut particulièrement pour les chaux aériennes éteintes de qualité artisanale qui peuvent ne contenir que 70 à 75 % de chaux active alors que les chaux aériennes éteintes de qualité industrielle en contiennent jusqu'à 90 à 99 %.

. Les chaux hydrauliques se rapprochent des ciments. Leur emploi en stabilisation n'est envisageable que si l'on ne dispose pas de chaux de qualité aérienne, vive ou éteinte. Les chaux hydrauliques naturelles

(XHN) seront préférées aux chaux hydrauliques artificielles (XHA) dont l'emploi en stabilisation est déconseillé.

. Les chaux agricoles qui sont généralement utilisées pour l'amendement des terres agricoles n'ont en général aucun effet stabilisant.

. Les producteurs-fournisseurs de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés à la chaux, prendront les précautions et mesures nécessaires pour que les chaux employées en stabilisation ne prennent pas l'humidité ni ne soient éventées pendant leur transport, leur manipulation ou leur stockage.

. Les chaux qui, au moment de leur emploi, présentent dans leur masse des grumeaux, ou qui ne sont pas conformes aux normes usuelles relatives à la qualité des chaux (teneur en chaux active notamment) seront rejetées.

. Les producteurs-fournisseurs de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés à la chaux, indiqueront au laboratoire de contrôle, la nature et la provenance de la chaux qu'ils souhaitent employer.

. Le laboratoire de contrôle est seul habilité à donner son agrément sur la qualité des chaux employées par les producteurs-fournisseurs de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés à la chaux.

Dosage en chaux

. Le rapport en chaux sera précisé par rapport aux paramètres suivants :
- texture et structure des terres,
- amélioration de la résistance en compression sèche et humide,
- réduction des variations dimensionnelles en présence d'eau : glonflement au mouillage, retrait au séchage.

. Pour les stabilisations ordinaires à la chaux, on pratique en général des dosages de 6 à 12 % équivalents à ceux pratiqués avec les ciments. On notera comme différence avec les ciments qu'il existe pour la stabilisation à la chaux un dosage optimal en fonction de chaque terre, en-deçà et au-delà duquel les améliorations apportées sont plus ou moins efficaces.

. L'efficacité de la stablisation à la chaux est tributaire en grande partie de la texture et de la structure de la terre qui doit contenir une fraction non négligeable d'argile avec laquelle la chaux réagit (réaction de type pouzzolanique). L'efficacité varie selon la nature des minéraux



argileux et s'avère bonne avec des minéraux riches en silicate d'alumine, en silice, en hydroxydes de fer.

. Les matières organiques et humiques sont peu néfastes par rapport à une stabilisation au ciment. Des terres en contenant jusqu'à 20 % peuvent être stabilisées à la chaux mais avec soin.

. Les sulfates sont également moins nocifs que pour une stabilisation au ciment. Le sulfate de magnésium n'est pas néfaste à l'état sec mais peut l'être à l'état humide.

. Les dosages en chaux seront donc affinés par rapport aux paramètres de qualité des terres locales, d'améliorations recherchées, et par rapport aux considérations d'efficacité sus-énoncées. Cette optimisation des dosages sera réalisée en amont de la production définitive des produits, par les producteurs-fournisseurs, sous contrôle de spécialistes ou du laboratoire d'analyses et d'essais désigné par le maître d'ouvrage.

## Autres stabilisants

. Tout stabilisant non conventionnel devra impérativement être soumis à une série d'essais qui permettront de vérifier les indications de dosage, de manutention et de manipulation, d'effets escomptés, avancés par le producteur.

. Les producteurs-fournisseurs employant des stabilisants non conventionnels fourniront au laboratoire de contrôle des échantillons représentatifs et indiqueront la provenance et la nature précise (brevet ou description détaillée) des stabilisants non conventionnels qu'ils souhaitent employer. A défaut d'identification sérieuse, des analyses chimiques très poussées, à charge des producteurs-fournisseurs ou entrepreneurs, seront effectuées.

. Le laboratoire de contrôle désigné par le maître d'ouvrage est seul habilité à donner son agrément pour l'emploi d'un stabilisant non conventionnel et effectuera tous les essais d'identification et de performance qui s'imposent, à charge du producteurr-fournisseur de matériaux ou de l'entrepreneur.

## Qualité de l'eau de gâchage

. On rejettera en principe les eaux sales, les eaux chargées en matières organiques, en sels et en sulfate : particulièrement pour une stabilisation au ciment. Ces composés peuvent en effet entraver ou ralentir le durcissement des stabilisants ou provoquer des efflorescences (sels notamment).

. D'une manière générale, le PH des eaux employées pour le gâchage des mélanges de terre-ciment ou de terre-chaux, sera supérieur à 7, c'est-à-dire que l'eau de gâchage ne sera pas acide.

## Production des blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés au ciment ou à la chaux

### Blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés au ciment

. On veillera à exécuter avec soin les étapes de production suivantes qui conditionnent en grande partie l'efficacité de la stabilisation au ciment :

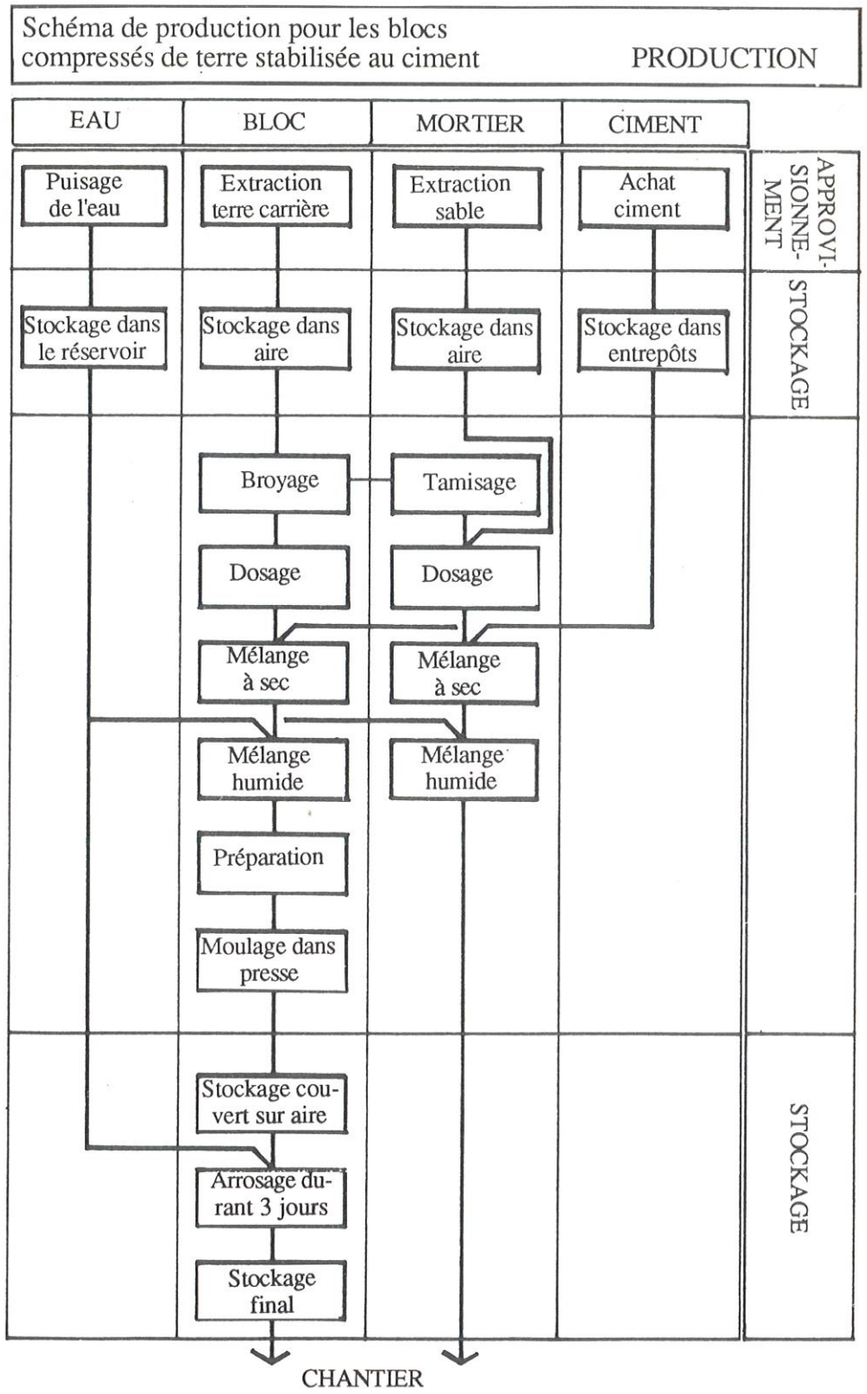
- pulvérisation : les éléments fins ne doivent pas s'agglomérer en nodules de diamètre > 10 mm.
- malaxage : 1ère phase de malaxage à sec ; nécessité d'aérer les terres trop humides ; ajouter l'eau en fin de malaxage, progressivement.
- compactage : à la teneur en eau contrôlée, proche de l'optimum Proctor : 90-95 %. Il est préférable de compacter du côté humide de la TEO pour les terres riches en argiles et du côté sec de la TEO pour les terres riches en sables
- séchage : maintenir les matériaux en ambiance humide et à l'abri du soleil et du vent pendant les premiers jours de la cure de séchage.

### Blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés à la chaux

. Pour la production de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés à la chaux, le schéma de production est similaire à celui adopté pour une stabilisation au ciment mais exige un soin particulier pour certaines phases de la production suivantes :

- pulvérisation des terres et notamment de leur fraction argileuse : brisage des mottes,
- malaxage en au moins deux étapes espacées de 1 à 2 jours pour les terres très plastiques,
- temps de retenue de plusieurs heures (8 h minimum) entre le malaxage et le compactage,
- cure de séchage dans une ambiance chaude et humide (bâchage de polyane p.e.)





## 2 - CARACTERISTIQUES DES BLOCS DE TERRE COMPRIMES, PLEINS, STABILISES

### A - PREAMBULE : RAPPEL

. Les exigences de qualité pour la fourniture de blocs de terre comprimés pleins, stabilisés, ont été mesurées par rapport aux références suivantes :

- Exigences posées par le document : "Recommandations pour la conception et l'exécution de bâtiments économiques en géobéton", République de Côte d'Ivoire, LBTP, Service Recherches, Abidjan, 1980, 64 pages et annexe, J. Simonnet, G. Lieutaud, B. Bamba, (ce document élaboré par le LBTP de Côte d'Ivoire qui fait actuellement référence sur le plan international, est principalement soucieux, au niveau des études en laboratoire et des contrôles d'exécution, des aspects suivants de qualité des terres employées et des matériaux produits).

- Essais d'identification de la terre
. analyse granulométrique
. teneur en eau optimale
. densité apparente de la terre

- Essais d'étude
. poids du matériau à mettre en place selon le type de presses
. détermination de la résistance en compression.

. Ce document met également en évidence l'importance de l'adoption de dispositions constructives adaptées au matériau terre où sont pris en compte :
- l'épaisseur des murs,
- l'appareillage des blocs
- le montage des blocs : mortier et épaisseur des joints
- les fondattions
- la protection des murs
- les chaînages
- le liaisonnement
- les linteaux.

. Autres références ayant permis de mesurer les exigences de qualité des blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés :



- "Recommandations pour la conception des bâtiments du Village Terre", AGRA, Plan-Construction, particulièrement les pages 68 à 77 qui énoncent des prescriptions sur l'aspect des blocs usuels. Le respect de ces prescriptions d'aspect ajouté aux textes d'identification de la convenance des terres, aux tests de résistance à la compression sèche et humide et au respect des règles de bonne conception architecturale et de l'art de bâtir en terre, garantissent une durabilité des constructions en blocs de terre comprimés,pleins, stabilisés.

- "Marrakech 83, habitat en terre", aide à la conception architecturale, projet d'une opération expérimentale à Marrakech. Maître d'ouvrage : ERAC-Tensift/ MHAT/ Rexcoop - Plan Construction-Ministère des Relations Extérieures. Réalisation CRATerre - GAITerre, 1983, 232 pages et plus particulièrement le chapitre 1, § 2, pp. 8 à 22, où est notamment mise en évidence la nécessité d'une protection de la base et du haut des murs de terre.

### B - DEFINITION DES ECHANTILLONS POUR LES ESSAIS D'ACCEPTATION

. Les échantillons sont prélevés sur la production réalisée par une entreprise ou un producteur-fournisseur local de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, soumissionnaire dans le cadre de l'opération de projet visé.

. Les fournisseurs de blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, auront impérativement pris connaissance du cahier des charges de production de matériaux et auront suivi les procédures établies quant au choix des terres utilisables, au respect des critères de convenance des terres pour la filière blocs de terre comprimés, pleins, staiblisés, au respect des procédures de production et au respect des exigences de qualité d'aspect et de résistance en compression sèche et humide énoncées par la suite.

. Le respect des exigences sus-énoncées est confirmé par les contrôles du laboratoire d'études et d'essais ou du bureau de contrôle désigné par le maître d'ouvrage et madaté pour ce faire.

. Pour les essais de caractérisation, préalables au lancement de la production définitive, chaque type d'essais précisé par la suite (résistance en compression sèche et humide) sera réalisé sur une série de 5 blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, soit sur un total de 10 blocs.

. Pour les essais d'acceptation sur la fourniture globale, définitive, en cours de production, la fourniture sera divisée en lots de 5.000 blocs au plus, provenant de la même fabrication. Une fourniture ou une fabrication de moins de 5.000 blocs compte pour un lot. La date de fabrication doit figurer sur au moins 2 % des blocs livrés. Lorsque la production sera rodée, le contrôle pourra porter sur des lots de 20.000 blocs.

. Il sera prélevé, par lot de 5.000 blocs, puis par lots de 20.000 blocs, 3 blocs par essai, soit un total de 6 blocs.

. Les essais de caractérisation et d'acceptation de la fourniture en blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, sont effectués par le laboratoire d'études et d'essais désigné par le maître d'ouvrage, compétent et outillé, mandaté contractuellemnet pour ce faire.

## C - PRESCRIPTIONS GENERALES POUR LES DIMENSIONS ET L'ASPECT DES BLOCS

. Les blocs types les plus courants ont les dimensions de moulage suivantes :
- longueur : 29,50 cm
- largeur : 14,00 cm
- hauteur : 8,80 cm

. Ces blocs font ici référence pour l'énoncé des prescriptions générales d'aspect.

. Dimensions modulées nominales
- longueur : 29,50 cm
- largeur : 14,00 cm
- hauteur : 8,80 cm

. Tolérances sur dimensions
- longueur : + 1, - 3 mm
- largeur : + 1, - 2 mm
- hauteur : + 2, - 1 mm

. Planitude des surfaces
Côtés : la flèche ne peut dépasser 1 mm
Surfaces de compression : la flèche ne peut dépasser 3 mm.

. Planitude des arêtes
Flèche maximale : 2 mm.



Une rugosité est admise, pour autant qu'elle soit due au démoulage et à une manipulation très soignée.

. Masse volumique
Sec :
minimum : 1.700 kg/m3 ou 6.178 kg par bloc
conseillé : 2.000 kg/m3 ou 7.268 kg par bloc
Frais de moulage :
minimum : 1.870 kg/m3 ou 6.796 kg par bloc
conseillé : 2.200 kg/m3 ou 7.995 kg par bloc.

. Obliquité des surfaces
- Les faces extérieures peuvent être légèrement obliques si les prescriptions de dimensions, tolérances et formes sont respectées.

. Rugosités des faces extérieures
- Les faces extérieures des blocs recevant un enduit, et les faces disparaissant dans la maçonnerie seront de préférence rugueuses.
- Les faces extérieures ne recevant pas d'enduit, doivent être lisses.

. Clivages - feuilletages
Ne sont tolérés sur aucune surface.

. Brèche, fissures, fendillements, crevasses
- Microfissures : des microfissures sont tolérées sur toutes les surfaces
- Macrofissures :
. ne peuvent se présenter que sur des surfaces non- exposées,
. la largeur et la profondeur ne peuvent dépasser les 1 mm,
. la longueur ne peut excéder les 10 mm et le nombre total ne doit dépasser en moyenne la valeur d'une brèche par 10 cm de longueur d'arête, c'est-à-dire 21.

. Ecornures
Les écornures dont la largeur d'empiètement et la profondeur ne dépassent pas 10 mm sont tolérées.

## D - RESISTANCE EN COMPRESSION

### PREAMBULE

. Pour les bâtiments de plain-pied ou en R + 1, la descente des charges est d'environ 0,1 à 0,2 Mpa. Il n'est donc pas utile d'employer des matériaux résistants à 10 Mpa ou plus. Néanmoins, 0,1 Mpa ne suffit pas car d'autres contraintes ou sollicitations s'ajoutent au seul rapport

de performance d'un bloc de terre comprimé, plein, stabilisé, et d'une construction réalisée avec ce matériau. Aussi, admet-on aujourd'hui, dans la plupart des contextes d'emploi de ce type de matériau un coefficient de sécurité de 20 à 30. Ainsi, 2 à 2,5 Mpa donnent une grande marge de sécurité désormais requise par la plupart des normes et recommandations en vigueur (cf normes UBC américaines, ou le document du LBTP de Côte d'Ivoire cité en référence).

. Dans le calcul d'une résistance en compression sèche considérée généralement comme satisfaisante pour les blocs de terre comprimés, pleins, stabilisé, on prend en compte les paramètres suivants :

- 1. Résistance demandée par la descente des charges :
. bâtiments de plain-pied et en R+ 1 = 0,1 Mpa
- 2. Coefficient de sécurité..... x 3
. dispersion dans la qualité de production
. dispersion dans la qualité d'exécution
. accroissent accidentel des surcharges

- 3. Coefficient de réduction..... x 4
. nature du matériau
. résistance du mortier
. mode de chargement

- 4. Coefficient de saturation..... x 2
. rapport résistance humide
résistance à sec

TOTAL..... x 24

. d'où $\tau$28 air = 2,4 Mpa
correspondant à une résistance en compression sèche considérée comme satisfaisante.

## RESISTANCE EN COMPRESSION SECHE

. L'essai de contrôle de la résistance en compression sèche est réalisé à 28 jours de cure de séchage. Un surfaçage des échantillons en pâte pure est effectué. Ce surfaçage est réalisé au moins 4 jours avant l'écrasement.

. la résistance en compression sèche moyenne, à 28 jours de cure qui est exigée pour des blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés, est supérieure à 3 Mpa avec aucune valeur inférieure à 2,5 Mpa.



## RESISTANCE EN COMPRESSION HUMIDE

. L'essai de contrôle de la résistance en compression humide des blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés est réalisé sur des blocs à 24 jours de cure + 4 jours d'immersion (selon "Recommandations pour la conception et l'exécution de bâtiments économique en géobéton du LBTP de Côte d'Ivoire). Si l'immersion est trop sévère, on s'en tiendra à 24 heures d'absorption d'eau par capillarité. Le test de résistance à la compression humide sera alors réalisé à 27 jours de cure + 1 jour d'aborption d'eau par capillarité. Un surfaçage des blocs échantillons, au souffre, est requis.

. La résistance en compression humide moyenne à 28 jours (24 jours + 4 jours ou 27 jours + 1 jour) de cure qui est exigée est supérieure à 1,5 Mpa avec aucune valeur inférieure à 1,2 Mpa.

. Le rapport R28 humide moyen / R28 sec moyen > 0,5.
La valeur de ce rapport peut être abaissée jusqu'à > 0,4 pour les climats secs ou de type semi-désertique.

---

## E - CONCEPTION ARCHITECTURALE ADAPTEE

---

. Les ouvrages en blocs de terre comprimés, pleins stabilisés, ont une durabilité garantie par la qualité des matériaux mais aussi, pour beaucoup, par le respect des règles de conception architecturale et des règles de l'art de bâtir en terre.

. Ces règles essentielles de conception architecturale et de l'art de bâtir en terre ont été établies et présentées dans la première partie de cette publication.

## 3 - MATERIEL ET OUTILLAGE POUR CHACUNE DES FILIERES

### Liminaire

La présentation que l'on donne ici des matériels de production, pour la filière blocs de terre comprimée pleins et pour la filière pisé, est directement extraite du document suivant :

CONSTRUCTION EN TERRE CRUE : LES MATERIELS FRANCAIS, Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME), Plan-Construction, CRATerre, ENTPE, éditions CRATerre, Grenoble, juin 1987, 81 p.

Cette présentation offre l'avantage de proposer de façon synthétique un bilan des matériels recencés à ce jour, une typologie et une critériologie de choix. En ce qui concerne plus particulièrement les presses, on présente ici la presse ALTECH PACT 500 qui a été utilisée sur le projet de HAY AL MASSIRA et la presse TERSTARAM qui a été utilisée sur le chantier de AIT OURIR. En ce qui concerne les coffrages à pisé, il n'existe pas à ce jour de matériel commercialisé spécifique à la construction en terre crue. Par contre, l'expérimentation réalisée sur le site de AIT OURIR a permis de tester un coffrage mis au moint par l'entreprise "Terre et Soleil" qui fut chargée par le Plan-Construction d'une mission d'assistance technique auprès de l'entreprise SOTRECI, adjudicataire du marché prototype AIT OURIR. Le bilan de cette assistance technique est présenté de façon synthétique dans le chapitre suivant de cette publication. On trouvera également ici, des informations relatives aux malaxeurs et aux fouloirs pneumatiques qui complètent la gamme des matériels employés pour la construction en blocs de terre comprimée et en pisé.

### 3.1. - BILAN DES MATERIELS RECENSES

Dans le monde, d'une part, et en France, d'autre part, en ce qui concerne les matériels de production, toutes filières terre confondues, dont la fabrication a dépassé le stade du prototype, on a recensé les matériels suivants :

### 3.2. - LES PRESSES

#### Typologie

**Presses manuelles** :
Seules les actions de compression et de démoulage sont effectuées par la machine actionnée manuellement.

**Presses motorisées** :
Seules les actions de compression et de démoulage sont effectuées par la machine actionnée par un moteur.

**Unités foraines** :
Unités de production facilement transportables, où en plus des actions de compression et de démoulage, des actions de préparation du matériau et/ou d'évacuation des produits sont motorisées et éventuellement automatisées.

**Unités industrielles** :
Unités de production difficilement transportables, où en plus des actions de compression et de démoulage, des actions de préparation du matériau et/ou d'évacuation des produits sont motorisées et éventuellement automatisées.

## Les presses utilisées dans les opérations HAY AL MASSIRA et AIT OURIR

## LA PRESSE ALTECH PACT 500

**Dénomination de la machine** : PACT 500

**Présentation de la machine** :
La machine est une presse motorisée, facilement déplaçable sur chantier lorsqu'elle est munie des 2 roues livrées d'origine ou du chassis-remorque équipé de 2 roues prévu en option.

**Durée d'automation** :
Le cycle de remplissage, compression et démoulage, préprogrammé mécaniquement, est déclenché manuellement.

**Mode de déplacement de la machine** :
Par traction sur chantier (limite 30 km/h) ou traction sur route (en option).

**Encombrement en fonctionnement** :
1,20 x 1,00 x 1,30 (L x l x h).

**Encombrement en transport** :
1,20 x 1,00 x 1,40 m (L x l x h).

**Poids net** :
650 kg.



**Poids emballé** :
750 kg.

**Source d'énergie** :
Moteur électrique 2 cv.

**Mécanisme de remplissage du moule** :
Par trémie fixe et moule rotatif.

**Mécanisme de compression** :
Par piston à déplacement vertical.

**Dispositif de détermination de fin de compression** :
Contrôle du déplacement effectué, ressorts de compensation et limiteur de couple.

**Nombre de blocs produits par cycle** :
1 (ou 2 pour le format 23 x 11 x 7 cm).

**Rendement** :
Rendement théorique 360 à 600 blocs/h.
Rendement pratique 250 à 320 blocs/h.

**Nombre minimal et maximal d'ouvriers nécessaires au bon fonctionnement de la machine** :
2 - 3, sans extraction, transport, préparation et stockage.

**Prix sortie d'usine** :
≈ 80.000 F. (1987)

**Prix FOB** :
≈ 84.000 F. (1987)

**Options** :
Autres moules et chassis-remorque.

Procès verbal d'essais disponible.

**Coordonnées du constructeur** :
ALTECH
Société Alpine de Technologies Nouvelles
rue des Cordeliers
F - 05200 EMBRUN
Tél. : 92.43.21.90.
Télex : 420 219 F

**Distributeur exclusif :**
ALTECH

**Présentation de la société :**
La société a été fondée mi-83.

**Description des produits :**
Blocs parallélépipédiques pleins.

**Dimension des blocs :**
Bloc typique :
- 29,5 x 14 x 9 cm (L x l x h)
- tolérance +/- 1 mm sur la hauteur
- masse sèche typique 7,5 kg.

Autres blocs :
- 30 x 20 x 10 cm (L x l x h)
- 23 x 11 x 7 cm (L x l x h).

**Aspect des blocs :**
Rugueux.

**Evidements :**
Néant.

## LA PRESSE TESTARAM

**Présentation de la machine :**
Il s'agit d'une presse manuelle, facilement déplaçable sur chantier car munie de 2 roues livrées d'origine. Cette presse est prévue pour la fabrication des briques crues stabilisées mais aussi de briques cuites, de tuiles et de carreaux de sol. Sa conception robuste en pièces mécano-soudées en fait une machine qui ne pose aucun problème de maintenance.

**Fiche technique :**
Course maximal du piston..... 38 mm
Rabattement du couvercle dans le moule..... 15 mm
Hauteur de remplissage maximum..... 140 mm
Hauteur des produits finis..... 20 à 100 mm
Poussée théorique maximum..... 15.000 Kgs

**Production pratique journalière (8 h)**
(Blocs 29,5 x 14 x 9 cm)..... 700
(Briques 22 x 10,5 x 6 cm).....1.400
Poids net (sans moule).....340 Kgs
Poids moyen d'un moule..... 40 Kgs
Caisse maritime..... . 1,5 x 0,55 x 1,02 m
P.B. moyen..... 550 Kgs



**Prix sortie atelier**
Presse Terstaram standard sans moule :..... 45.315 F. Belges (1987)
Moule pour blocs 29,5 x 14 x 9 cm : .....7.510 F. B. (1987)
Caisse maritime : ..... 2. 750 F. B. (1987)

**Options**
Autres moules (double brique, tuiles et carreaux).

**Coordonnées du constructeur**
Société APPRO-TECHNO
24, rue de la Rièze
B - 6404 COUVIN-CUL-DES-SARTS
BELGIQUE
Tél. : 060-37.76.71
Télex : 51622 APTEC

## 3 . 3 . - LES MALAXEURS

### Problématique

Le malaxage est particulièrement important pour la qualité finale du produit. Un mélange homogène est indispensable. Il faut de préférence d'abord opérer un malaxage à sec. Pour une humidification homogène, l'eau doit être soit ajoutée en jet, en pluie fine, en nuage ou en vapeur sous pression, selon la technique de construction et le degré de sophistication visés.

### Typologie

**Bétonnières :**
Il s'agit des classiques bétonnières de chantier, manuelles ou motorisées. Ces modèles ont un rendement de ≈ 8 à 10 m3/j et coûtent ≈ 5.000 FF.

**Motoculteurs :**
Ils sont motorisés et constitués d'une série de fraises montées sur un arbre horizontal rotatif et permettent de réaliser simultanément le broyage et le malaxage. L'opération demande beaucoup de place utile. Ces modèles ont un rendement de ≈ 6 m3/jour et coûtent à partir de ≈ 5.000 FF.

**Malaxeurs planétaires :**
Ils sont motorisés et constitués d'un ensemble de pales fixées sur un arbre vertical rotatif qui tourne à l'intérieur d'une cuve. Selon la sophistication du dispositif, le mouvement des pales est plus ou moins complexe. Il existe même des modèles où la cuve est en rotation. Ces modèles ont un rendement de ≈ 15 m3/jour et coûtent ≈ 20.000 FF.

**Malaxeurs linéaires** :
Ils sont motorisés et constitués d'un ensemble de pales fixées sous forme de vis hélicoïdale interrompue ou continue, qui tourne à l'intérieur d'une cuve cylindrique horizontale ou verticale. Les systèmes horizontaux les plus sophistiqués comportent une cuve double équipée de deux axes. Ces modèles ont un rendement de ≈ 20 m3/j et coûtent ≈ 30.000 FF.

**Malaxeurs à meules** :
Ils sont motorisés et constitués de deux meules qui tournent dans une cuve. Ces modèles ont un rendement de ≈ 15 m3/j et coûtent ≈ 20.000 FF.

**Malaxeurs à arbre horizontal** :
Ils sont motorisés et constitués d'un ensemble de pales fixées sur un arbre rotatif horizontal qui tourne à l'intérieur d'une cuve cylindrique horizontale, souvent de dimensions réduites. Ces modèles ont un rendement de ≈ 10 m3/j et coûtent ≈ 20.000 FF.

## Critériologie de choix

Les malaxeurs doivent être extrêmement résistants à l'usure par abrasion, particulièrement dans le cas d'utilisation de terres latéritiques.
La puissance absorbée pour le malaxage de la terre est sensiblement supérieure à celle absorbée pour le malaxage du béton. Les capacités utiles annoncées par les constructeurs sont souvent données pour le malaxage du béton et doivent être minorées pour la terre.
Les malaxeurs utilisés pour préparer la terre destinée à la production de blocs de terre comprimée ou de pisé, doivent être capables de la malaxer pendant une durée de 3 à 4 mn, si on veut obtenir un résultat optimal.
Les systèmes ne doivent en aucun cas produire des agglomérations de terre sous forme de boules.
Le choix d'un malaxeur est aussi fonction de l'état de la terre à malaxer.

Etat humide : terre grumeleuse dont le toucher donne une sensation d'humidité réelle. Utilisation pour le pisé, les blocs de terre comprimée.
Les motoculteurs, malaxeurs planétaires, malaxeurs linéaires et malaxeurs à arbre horizontal conviennent.

Etat plastique : terre pâteuse, facilement modelable. Utilisation pour l'adobe, le torchis, la terre façonnée, la terre extrudée et la bauge.
Les malaxeurs planétaires, malaxeurs linéaires et malaxeurs à meules conviennent.



Etat liquide : terre sous forme détrempée d'eau formant une masse visqueuse. Utilisation pour le torchis, la terre-paille. Les bétonnières, malaxeurs planétaires, malaxeurs linéaires, malaxeurs à meules et malaxeurs à arbre horizontal conviennent.

## Fiches signalétiques

Certaines unités de production foraines ou industrielles sont équipées d'un malaxeur.
En dehors de ces unités, il n'existe pas de matériel commercialisé spécifique à la construction en terre crue.
Cependant, certains matériels proposés par la société suivante peuvent convenir :

ESA-SED
1854, route de Saint Romain
BP 2
F- 42153 RIORGES
Tél. : 77.71.97.77
Télex : 300 985 F

# 3.4 - LES COFFRAGES

## Problématique

L'action de densification par damage de la terre pour la production de pisé nécessite un confinement du matériau qui doit être assuré par des coffrages.
Pour réaliser cette opération, il existe une infinité de solutions, ce qui explique l'importante gamme de coffrages, qui se diversifient autant au niveau des matériaux que des systèmes utilisés.
Les rendements obtenus pour la production du pisé dépendent plus de la bonne adéquation du coffrage à l'ouvrage à exécuter que de toute autre facteur matériel.

## Typologie

On peut classer les coffrages selon plusieurs aspects :

**Configuration** :
On distingue les banches traditionnelles légères de faibles dimensions, les grands coffrages horizontaux, les coffrages verticaux, les coffrages de ceinture et les coffrages intégraux. Les quatre derniers peuvent être mis en oeuvre soit d'une pièce, soit faire l'objet d'un assemblage pendant l'avancement des travaux.

**Maintien** :
On distingue le maintien traditionnel par clefs, le maintien par pinces sur le corps du mur et le maintien par fixation sur une structure indépendante.

**Déplacement** :
On distingue le déplacement horizontal par démontages et montages successifs, le déplacement horizontal sur rouleaux, le déplacement vertical par démontages et montages successifs ou alternatifs et le déplacement vertical par glissement.

**Forme produite** :
On distingue les coffrages qui permettent de produire des surfaces planes ou courbes, éventuellement avec du fruit.

**Intersection de murs** :
En dehors du raccord sur une structure indépendante, on distingue les coffrages d'intersections qui sont conçus pour un ouvrage particulier et ceux qui font partie intégrante du système. Parmi ces derniers, il existe des coffrages d'intersection modulées et non modulés, symétriques et non symétriques.

## Critériologie de choix

**Déformation** :
Les coffrages doivent être suffisamment rigides pour résister sans déformation aux poussées de la terre lors du damage, poussées qui varient de 30 à 500 Mpa.

**Planéité** :
Un défaut de planéité de 4 à 5 mm sur une surface d'un m2 est visible.

**Durabilité** :
Les coffrages doivent présenter une excellente résistance surfacique aux coups des dames et à ceux provoqués par les manipulations.

**Maintien** :
Les coffrages doivent demeurer stables malgré les vibrations importantes lors du damage, les sollicitations pendant le versement de la terre et lors des mouvements des ouvriers.

**Trous** :
La taille et le nombre de trous laissés par les clés est à prendre en considération. Afin d'éviter des difficultés d'extraction et des arrachements de matériaux lors du démontage des coffrages, les clés doivent être de préférence coniques.



**Aspect de surface** :
Il faut veiller à la qualité de surface du coffrage qui conditionnera celle du pisé.

**Adhérence** :
Le matériau et la qualité de finition des panneaux des coffrages influencent sensiblement la facilité de décoffrage sans arrachage de matière.

**Déplacement** :
Le déplacement des coffrages est facilité par un poids adapté aux conditions de chantier, un montage et un démontage aisés.

**Réglages** :
Les coffrages doivent être facilement alignés tant en horizontal qu'en vertical, ainsi que s'adapter aisément aux dimensions et aux formes désirées du pisé.

**Polyvalence** :
Certains coffrages permettent sans trop de complication, ni trop de surcoût, une large flexibilité dans le choix des formes qu'il est possible de produire.

**Modulation** :
La parfaite adéquation entre l'architecture et la modulation des coffrages est la principale garantie de l'efficacité de la production du pisé. Dans la mesure où il n'existe pas de coffrage universel, celui acquis déterminera dans une large mesure l'architecture du projet et l'efficacité de son exécution.

**Adaptation aux ouvertures de baies** :
Les coffrages peuvent être soit équipés de dispositifs pour interrompre le pisé aux ouvertures de baies, ou recevoir des inserts qui permettront par la suite leur remplacement par les cadres des ouvertures.

**Sécurité du travail** :
Certains coffrages permettent une sécurité passive des ouvriers par leur facilité de montage, de démontage, de déplacement, mais aussi, parfois, par une sécurité active grâce à l'adjonction facile de dispositifs tels que filets, garde-fous...

## 3.5 - LES FOULOIRS PNEUMATIQUES OU "DAMES"

### Problématique

L'action des dames consiste à resserrer les grains constituant la terre. L'action de densification s'obtient par la mise en oeuvre d'efforts de resserrement dynamiques.

Le damage manuel est une tâche lente, fastidieuse et fatigante. On peut utiliser divers systèmes mécaniques.

## Typologies

**Dames manuelles :**
Ces outils consistent en une masse de bois ou de métal équipée d'un manche. Il en existe une grande diversité, selon l'utilisation qu'on en fait.

**Fouloirs pneumatiques :**
Ces systèmes limitent la forme et le fonctionnement d'une dame manuelle, mais avec une plus grande fréquence d'impacts qui va jusqu'à 700 coups/minute. Ces modèles coûtent à partir de ≈ 4.000 FF (sans compresseur).

**Dames vibrantes :**
Ces systèmes comportent un moteur à masse rotative excentrée qui imprime des vibrations à une plaque et met l'engin en mouvement. Ces modèles coûtent à partir de ≈ 12.000 FF.

## Critériologie de choix

Chaque dispositif a une énergie de compactage variable qui dépend du rapport entre le nombre et la vitesse des passages et de l'épaisseur des couches de terre foisonnée à compacter ce qui modifie le gradient de compacité.

**Dames manuelles et fouloirs pneumatiques :**
Une surface de frappe de forme rectangulaire plane avec angles arrondis donne les meilleurs résultats. Elle préserve les coffrages et reste efficace dans les angles. Une légère convexité de la surface de frappe est tout à fait acceptable mais une surface de frappe à 45 ° peut faire perdre jusqu'à 30 % d'efficacité.
La surface de frappe varie d'environ 60 à 200 cm2 et doit être renforcée pour résister à l'usure qui est très importante.
Les outils ne doivent pas être trop lourds (7 à 15 kg au maximum).
Les fouloirs pneumatiques ne doivent pas être trop puissants car ils peuvent destabiliser les coffrages et foisonner le pisé. Leur course doit être longue d'environ 20 cm et la consommation en air comprimé modérée, afin de limiter la taille du compresseur qui doit lui être impérativement associé. En général la pression pneumatique de fonctionnement doit atteindre 0,5 MPa, sans dépasser 0,7 MPa. L'expérience montre qu'il est même préférable de travailler au voisinage de 0,4 Mpa.



**Dames vibrantes :**
Les engins à moteur thermiques demeurent lourds, encombrants et coûteux.
Leur emploi qui a fait l'objet de plusieurs tentatives peu démonstratives est à déconseiller, en l'état actuel de la technologie.
Des essais sont en cours avec des dames vibrantes légères à moteur électrique.

**Marteaux piqueurs :**
Equipés d'une plaque de damage, ces engins demeurent trop puissants et font entrer les murs en résonnance, causant un délitage du matériau, ou pire encore, une destabilisation des coffrages.

## Fiches signalétiques

Il n'existe pas de matériel commercialisé spécifique à la construction en terre crue.
Cependant, certains fouloirs pneumatiques proposés par les sociétés suivantes peuvent convenir.

OPINDUS
41, chemin Pivolles
F-69150 DECINES CHARPIEU
Tél. : 72.37.87.97
Télex : 380520F

RENAULT GEORGES
87-89, rue des Rosiers
F-92501 RUEIL MALMAISON
Tél . : (1)47.49.60.60.
Télex : 204512F

## 4 - L'ASSISTANCE TECHNIQUE SUR LES MATERIELS DE PRODUCTION : PRESSES ET MODERNISATION DU PISE

### Liminaire

La question de la production des matériaux et plus directement de l'actualisation des modes de production est restée centrale tout au long de l'opération Marrakech Habitat en Terre.

En effet, le cahier des charges d'expérimentation initial de l'opération imposait l'obligation de modernisation de la production des matériaux, d'une part à l'aide de presses ou d'unités de production de blocs de terre comprimée et d'autre part à l'aide de banches à pisé et d'outils de compactage actuels. Il s'agissait là d'un enjeu réel devant contribuer à faire une véritable démonstration de modernité de la construction en terre au vu d'une qualité confirmée des matériaux produits et de leur mise en oeuvre sous forme de bâtiments. Cette démonstration devait notamment permettre de contourner les blocages d'ordre psycho-sociologiques tant des institutions marocaines et des opérateurs de l'acte de bâtir que de la population locale.

Cette nécessité de moderniser les modes de production interpellait trés directement l'un des acteurs principaux de la construction, à savoir les entreprises et les producteurs de matériaux locaux. Or, il s'est avéré que ces partenaires ont opposé assez longtemps une résistance à cette idée de modernisation, d'une part, du fait d'une méconnaissance quasi totale des nouvelles techniques de construction en terre et d'autre part du fait de l'obligation d'investissement dans l'acquisition d'un matériel nouveau pour eux, obligation associéé à une absence de garantie d'obtention du marché permettant un amortissement rapide des investissements. En effet, dans un premier temps, le maître d'ouvrage a procédé à un appel d'offres séparé de production des matériaux, largement ouvert, laissant les entreprises sur une position d'hésitation à investir car ce seul marché indépendant de celui de la construction des bâtiments n'était pas considéré comme assez lucratif. Ce n'est donc que lorsqu'il fut décidé de scinder le marché en deux phases, avec une phase expérimentale prototype avec un appel d'offres restreint associant le marché de production des matériaux et de la construction de bâtiments que les blocages purent être finalement contournés car le marché, si petit fut-il permettait malgré tout un amortissement suffisant des investissements.



### 4.1. LA MODERNISATION DE LA PRODUCTION DES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE

#### A) La filière Semi-Mécanique PACT 500

Le bilan qui suit est établi à partir des échanges de correspondances entre le société Altech, le Plan Construction, la PMCT et l'ERAC ainsi qu'à partir des divers rapports de mission faisant état de la mise en place de cette filière.

L'investissement en matériel

Le séminaire d'information et de sensibilisation organisé par le programme Rexcoop et CRATerre à l'Isle d'Abeau en juillet 1984, à l'intention des partenaires de l'opération et plus largement des acteurs marocains intéressés par l'opération, a contribué à motiver les entrepreneurs présents dont certains, à l'issue de ce séminaire et de retour au Maroc, ont trés vite envisagé d'investir dans un matériel de production de blocs de terre comprimée. Tel fut notamment le cas de la SBBM de Marrakech (M. Mouyal) qui devait confirmer son intérêt pour s'orienter vers la filière blocs de terre vibro-compactée (voir point B) et de la SED, Société d'Etudes et de Travaux (M.Tazi) de Rabat qui allait créer une nouvelle société spécifique, la PMCT, Procédés Modernes de Construction en Terre. Cette société allait s'associer, dans un premier temps, dans le cadre d'une convention, avec la société ALTECH PACT 500, puis dans un deuxième temps élargir cette convention à la participation d'une entreprise locale de Marrakech (M. Elie Mouyal), en vue de travailler en commun à partir de l'importation, au Maroc, de presses PACT 500. Cette convention offrait notamment l'avantage d'une garantie de maintenance du matériel, d'assistance technique et d'aide à la production des matériaux à l'importateur de la presse, cette assistance étant fournie par la société ALTECH. La PMCT s'engageait dès le départ sur l'acquisition de 2 presses, cela en vue de répondre directement à l'appel d'offres fournitures de matériaux lancé dans un premier temps par l'ERAC.

Les difficultés préalables au lancement de la production

Au-delà de l'acquisition potentielle du matériel, la PMCT s'est ensuite mise en relation avec l'ERAC-Tensift, maître d'ouvrage de l'opération, en vue de lui faire des propositions de réalisation du marché en régie, solution offrant l'avantage d'un contrôle suivi de la qualité de production des matériaux. Ces offres au maître d'ouvrage étaient également confirmées par la société ALTECH qui rappelait ses engagements pris avec son partenaire, la PMCT.

L'appel d'offres fourniture des matériaux n'ayant pas eu les réponses attendues par le maître d'ouvrage, la procédure d'appel d'offres séparé matériau et construction des bâtiments fut abandonnée. Ce changement de cap dérouta la PMCT qui avait pris des engagements d'investissement et qui connaissait par ailleurs des difficultés administratives pour importer le matériel (papiers de dédouanement et valeur d'achat permettant une réduction des taxes).

Néanmoins, l'idée de la procédure de marché en régie devait continuer à faire son chemin à partir de l'année 1985. Par ailleurs, la société ALTECH contactait directement le programme REXCOOP pour obtenir des financements devant permettre de réaliser une mission d'assistance technique auprès de son partenaire marocain et de l'ERAC-Tensift, en vue de mettre en route une production de blocs de terre comprimée. Ces propositions devaient recevoir un écho favorable dès lors qu'il fut clairement décidé de scinder le marché de construction des 60 logements en deux étapes de réalisation avec un marché prototype restreint dans un premier temps correspondant à 10% du marché global sur lequel deux entreprises s'engagèrent à investir, le risque devant alors être considéré comme limité par les plus grandes latitudes de manoeuvre offertes par l'aspect expérimental de cette phase et la taille du marché qui, bien que peu importante (2 chantiers de 2 logements) permettait un amortissement des investissements en matériel (presses et banches, etc). Cette décision de réaliser une phase prototype permit un déblocage de la situation et la mise en route effective de la phase chantier.

L'assistance technique pour le lancement de la production

Le programme d'assistance technique à la mise en place d'une briqueterie sur le site du projet de HAY AL MASSIRA entra en phase opérationnelle en octobre 1985 avec l'intervention de la société ALTECH, sous contrôle du LPEE et du CRATerre. Ce programme prévoyait les interventions suivantes:

-formation d'une équipe de briquetiers (ouvriers non qualifiés de la PMCT et de l'entreprise adjudicataire du marché prototype) à l'ensemble du processus de production des blocs de terre et d'un technicien de l'ERAC-Tensift qui devrait par la suite assurer le suivi de la production en phase chantier.
-production d'une production échantillon de blocs de terre qui devait être analysée et testée par le LPEE.

Cette phase expérimentale de production des matériaux fut opérationnelle dès lors que l'extraction des terres préalablement identifiées par le L.P.E.E. fut réalisée et dès lors que l'ERAC-Tensift eut construit un abri sur le site de Hay Al Massira devant servir à



abriter la briqueterie. Parallèlement, le CRATerre et le L.P.E.E. convenaient d'un protocole de suivi et de contrôle de la qualité de la production qui permettait de réaliser les premiers essais et tests de résistance sur les premiers blocs produits. Ces essais furent trés vite concluants (voir chapitre bilan de l'aide à la production des matériaux et à l'exécution des chantiers), permettant d'entrer trés rapidement en phase de construction des prototypes.

## B) La filière blocs de terre vibro-compactée

Les étapes d'expérimentation préalables

Le bilan qui suit est établi à partir des échanges de correspondances entre la SBBM et le Plan Construction, à partir d'un rapport d'expertise réalisé par M. André Accetta de l'Ecole d'Architecture de St.Etienne et enfin à partir d'un rapport d'essais du L.P.E.E.sur les premiers blocs produits.

La Société de Bâtiment et de Béton Moulé, (SBBM) de Marrakech, dirigée par M. Simon Mouyal a trés tôt manifesté son intérêt pour cette filière de production de blocs de terre vibro-compactée. Elle engageait donc dès 1984 les premiers essais de production expérimentale à partir d'une presse à agglos et hourdis de type MINATO. Il s'agissait de blocs aux dimensions de 20 x 20 x 40 cm, creux, avec parois de 34 mm utilisant des terres du site de Hay Al Massira. Les premiers dosages étaient de l'ordre de 6% et la première production de 1000 unités. Les premiers résultats constatés faisaient apparaître un bel aspect fini des blocs qui se démoulaient facilement mais aussi une relative friabilité des blocs. La SBBM s'adressait alors au Plan Construction en vue de bénéficier des conseils d'un expert français en vue d'optimiser ces premiers résultats.

L'assistance technique à la mise en place de la filière

Une mission d'assistance technique de M. André Accetta fut donc confirmée qui fut réalisée en avril 1984 auprés de plusieurs entreprises de Marrakech, en relation avec l'ERAC-Tensift et le L.P.E.E.. L'objet de cette mission était d'étudier la faisabilité des blocs pleins en terre stabilisée par compactage dynamique à partir des centrales de production industrielles existant à Marrakech et en particulier avec:
-une centrale de type MINATO 116 SE, de la Société SBBM,
-une centrale de type ACOMA, de la Société PREFAB-ATLAS,
-une centrale de type GAMMA 100, de la Société SOTRECI (M. Karrakchou).
Toutes ces unités de production industrielles sont des presses fixes utilisées en atelier pour la fabrication de parpaings et de hourdis en

béton à cadence élevée (5000 à 10000 blocs par jour). Ces unités sont équipées de chargeurs, silos et malaxeurs.

Des essais ont été effectivement réalisés, sauf sur la presse de type GAMMA 100, à partir d'une terre prélevée sur le site de Hay Al Massira broyée et criblée à la maille de 25 mm. Ces essais (résultats donnés par la suite) ont montré que le malaxage de la terre ne posait pas de problèmes à condition que l'eau soit introduite très progressivement et les premiers blocs produits, pleins, aux dimensions de 20 x 18 (h) x 40 cm , par planches de 5 unités étaient de trés bonne qualité dimensionnelle et de surface au démoulage. Le rapport d'expertise faisait également état d'une bonne résistance à la pression du doigt au démoulage et la présence, pour certains des blocs, de fissures longitudinales en face supérieure vraissemblablement dûes aux conditions de démoulage.

Conclusions immédiates d'expertise

Les principales conclusions tirées à l'issue de cette mission d'assistance technique sur l'étude de la faisabilité de la filière blocs vibro-compactés faisaient ressortir une nécessité d'adaptation des centrales de production avec notamment:
-remplacement du verin supérieur des centrales,
-modification ou amélioration des moules (réduction de la hauteur des blocs pour un allègement sensible de leur poids)
-amélioration de la maîtrise du débit et de la pulvérisation de l'eau dans le malaxeur.
En outre, il fallait également envisager d'augmenter la puissance des vibreurs de la table de moulage et de changer les amortisseurs sur la centrale ACOMA et, équiper la table de vibreurs et d'amortisseurs, surélever le châssis pour la centrale GAMMA 100.

Les investissements à envisager correspondaient à quelques dizaines de milliers de Francs pour les centrales MINATO et ACOMA et devaient être plus importants sur la centrale de type GAMMA 100.

Il semblerait que cette hauteur d'investissement aient par la suite rebuté un peu les industriels de Marrakech, à l"exception de la SBBM qui allait réaliser une production pour le marché prototype, sans apporter d'amélioration particulière à sa centrale MINATO 116 SE.

Les premiers essais réalisés et les premiers résultats

Pour la réalisation des premiers essais, plusieurs dosages en liants ont été testés:
-terre seule avec optimisation de la teneur en eau (à 9% et 12%)



-terre stabilisée à 4% et à 8% de ciment CPAZ 325 à 12% de teneur en eau,
-terre stabilisée à 6% et à 12% de chaux éteinte en poudre à 12 % de teneur en eau.

En accord avec le L.P.E.E., les blocs produits devaient être testés à 7 jours en compression sèche (séchage en étuve close non ventilée pour la SBBM et séchage sous bâche et à l'ombre pour PREFAB-ATLAS) puis à 28 jours en compression sèche et humide, en reprise d'humidité et en variation dimensionnelle.

Les premiers résultats étaient donnés par le L.P.E.E. avec un "Rapport Complémentaire - Massira Terre" (dossier n° 83/250/2091 FE du 12 O6 84). Ces résultats amenaient les remarques suivantes:

-seuls les blocs en terre stabilisée à 8% de ciment obtenaient une résistance à la compression aprés 7 jours d'absorption supérieure à 2Mpa (2,6 Mpa bars exactement),
-les résistance à sec obtenues sur les blocs de terre seule étaient supérieures à celles obtenues sur les blocs stabilisés à la chaux alors que les essais humides étaient meilleurs pour les blocs stabilisés à la chaux,
-une stabilisation à 4% n'étaient pas suffisante pour arriver au résultat escompté,
-d'une façon générale, les densités obtenues sur les blocs vibro-compactés étaient relativement faibles et l'on remarquait, paradoxalement, que l'on obtenait des densités trés inférieures pour les blocs stabilisés au ciment et à la chaux que pour les blocs en terre seule (problème de maîtrise de la bonne teneur en eau).

Le L.P.E.E. tirait les conclusions suivantes:
-les faibles résistances après absorption obtenues sur les blocs en terre seule montrent que les limons calcaires du site de Hay Al Massira nécessitent une stabilisation,
-une stabilisation à 8% de ciment, bien qu'elle ait donné des résultats satisfaisants, s'avèrerait onéreuse et sortirait du cadre économique de l'opération.
Néanmoins, le laboratoire restait sur l'espérance d'améliorer les résultats en mieux contrôlant la teneur en eau et en améliorant les centrales selon les orientations précisées à l'issue de la mission d'assistance technique sur cette filière.

Dévelopements ultérieurs

Un seul des 2 prototypes du projet de Hay Al Massira devait être réalisé en blocs de terre vibro-compactés. Les partenaires de l'opération durent constater que ce produit n'était pas encore assez

fiable pour être immédiatement développé. Rappelons à cet égard les conclusions de la DCTC exprimées dans son point de vue (dernière partie de cette publication):

"Sur les technologies, la filière vibro-compactée a montré son manque actuel de maturité. Il n'est d'ailleurs pas du tout certain que cette filière constitue la panacée des technologies de construction en terre".

## C) Modernisation de la production du pisé

Le bilan qui suit est établi à partir d'un rapport d'assistance technique de M.Jacques Gumbau de l'entreprise "Terre et Soleil" et des éléments d'analyse du CRATerre.

L'assistance technique aux entreprises

Envisager une modernisation des outils et des techniques :

A la demande du maître d'ouvrage et des architectes de l'opération AIT OURIR, une mission d'assistance technique sur la modernisation des outils et des techniques de mise en oeuvre du pisé a été réalisée à Marrakech, par l'entreprise "Terre et Soleil" qui participait à cette même époque à la réalisation de deux chantiers du projet du "Domaine de la Terre" de l'Isle d'Abeau, en France. Cette mission faisait suite à diverses actions de sensibilisation et d'information des partenaires sur la nécessité d'envisager un saut technologique en ce qui concerne la construction en pisé, notamment pour l'emploi d'un outillage plus performant (compactage pneumatique avec banches adaptées) devant permettre d'améliorer trés sensiblement la qualité du pisé et les rendements d'exécution (mécanisation de la mise en oeuvre), les techniques traditionnelles organisées autour de la structure artisanale du travail du "maâlem" étant apparues comme inadaptées à assurer un pisé "amélioré" (notamment en qualité de compactage) et une faisabilité du pisé dans le secteur formel de la construction organisée.

Objectifs de la mission d'assistance technique :

La mission effectuée par M. Jacques Gumbau de l'entreprise "Terre et Soleil" avait pour objectif les points suivants:
-calepinage du projet architectural de Ait Ourir, en liaison avec les architectes du projet.
-étudier la possibilité de confectionner un prototype de banche de type panneaux solidaires raidis par une structure acier.
-étudier avec les entrepreneurs les questions d'organisation et de fonctionnement d'un chantier en pisé mécanisé.



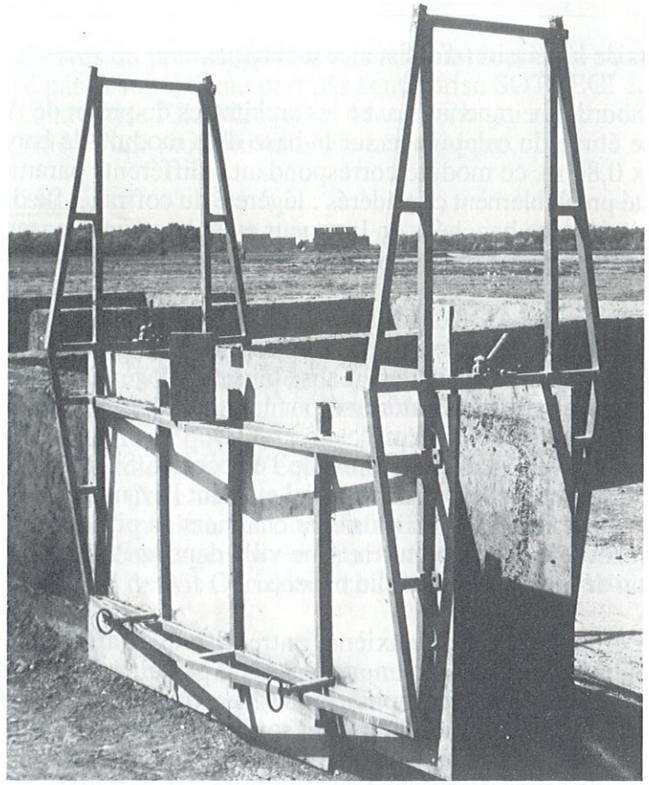


photo : CRATerre

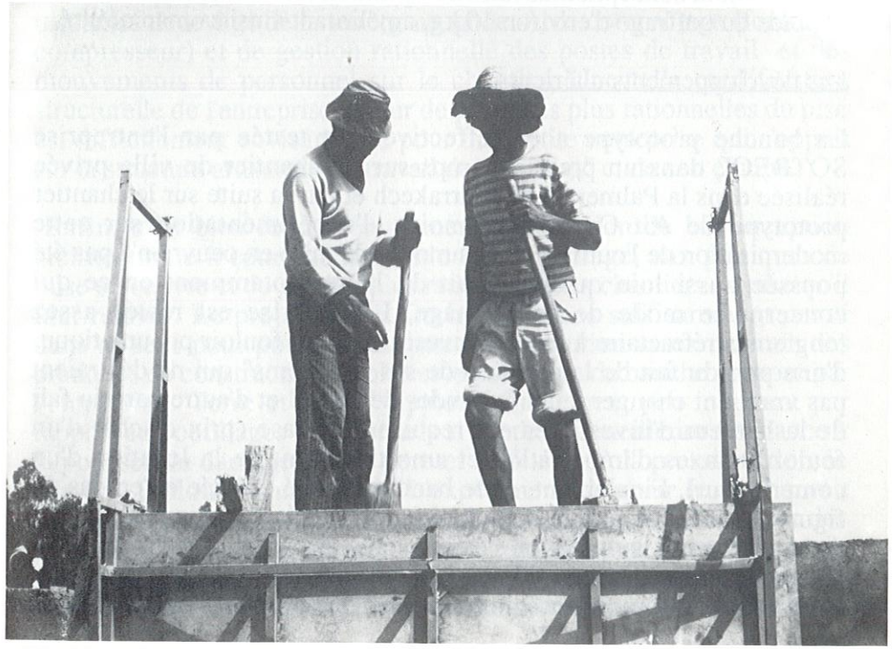


photo : CRATerre

Résultats de la mission d'assistance technique :

-Tout d'abord, une rencontre avec les architectes du projet de Ait Ourir avec une étude du calepinage sur la base d'un module de banchée de 2,00 m x 0,80 m, ce module correspondant à différents paramètres de faisabilité préalablement considérés : légèreté du coffrage, flexibilité de la modulation des banchées en longueur et en hauteur. L'ensemble du projet a donc été redessiné en fonction de ces dispositions.

-Rencontres à l'ERAC-Tensift avec deux entrepreneurs :
.d'une part M.Oujdani, de l'entreprise KOUTOUBIA : entreprise bien équipé en matériel et ayant déjà réalisé plusieurs logements de l'ERAC mais apparemment plus intéressé par la technique du bloc de terre comprimée que par celle du pisé.
.d'autre part avec M. Karrakchou de l'entreprise SOTRECI : petite entreprise disposant de peu de matériel et ayant l'avantage de travailler à l'époque de la mission sur plusieurs chantiers en pisé dans la région de Marrakech (murs de clôture et une villa dans la Palmeraie) offrant l'occasion de tester une nouvelle banche.

C'est en effet avec cette deuxième entreprise qu'il a été possible de mettre au point une banche en panneaux de planches assemblées et à structure acier (voir phographie jointe). Le prix de revient de cette banche s'élevait à environ 900 DH et son poids était de l'ordre de 100 kg, permettant une manipulation à deux ouvriers. Dans une version future dont la conception devait être optimisée, il était prévu d'abaisser le poids du coffrage d'environ 10 kg, améliorant ainsi sa maniabilité.

Les développements ultérieurs

La banche prototype a été effectivement testée par l'entreprise SOTRECI, dans un premier temps sur un chantier de villa privée réalisée dans la Palmeraie de Marrakech et par la suite sur le chantier prototype de Ait Ourir. Néanmoins, l'expérimentation sur cette modernisation de l'outilage et des modes de mise en oeuvre n'a pas été poussée aussi loin qu'elle aurait dû l'être, notamment en ce qui concerne le mode de compactage. L'entreprise est restée assez longtemps réfractaire à l'idée d'investir dans un fouloir pneumatique, d'une part du fait de la pression de ses "maâlems" qui ne désiraient pas vraiment changer leurs habitudes de travail et d'autre part du fait de la hauteur d'investissement requise à la base (prix d'achat d'un fouloir + taxes d'importation et amortissement de la location d'un compresseur). Finalement, cette banche n'a été utilisée qu'en cas de figure de chantier simple, c'est à dire pour réaliser les premiers tours de banchée, sa manipulation s'étant avérée pas aussi performante que le constructeur l'escomptait en passant sur les tours de banchées supérieurs. On a pu néanmoins constater que plusieurs prototypes de



banches dérivés du premier qui fut mis au point lors de la mission ont été réalisé par la suite, d'une part par l'entreprise SOTRECI et d'autre part par l'entreprise Elie Mouyal de Marrakech qui restent tout à fait ouvert à l'idée d'une modernisation de la technique.

Conclusions

Pour résumer, on remarquera ici trois pierres d'achoppement à cette modernisation du pisé:

-Tout d'abord un obstacle d'ordre culturel : les pratiques locales du pisé, avec leur outillage rôdé depuis des générations et surtout des rendements qui correspondent à des rémunérations types sont trés difficiles à remettre en question - une "amara" (4 banchées) de mur de clôture ou de mur de bâtiment équivalant à un temps moyen de travail et à tant de DH. Cette remise en question est d'autant plus difficile dans le cadre d'un chantier dont la taille n'est pas suffisamment importante pour envisager un réel amortissement des investissements (les 2 prototypes de Ait Ourir) en achat ou en location d'un matériel nouveau .

-D'autre part un obstacle d'ordre économique, cette modernisation du pisé ne devant pas seulement s'entendre dans le sens d'une utilisation d'un nouvel outillage mais avant tout dans le sens d'une modernisation du processus global de production du pisé, à savoir en terme d'équipement mécanisé d'extraction de la terre, d'équipement mécanisé de levage de la terre(grue, godets), de compactage (fouloir et compresseur) et de gestion rationnelle des postes de travail et des mouvements de personnel sur le chantier. Une telle modification structurelle de l'entreprise autour de pratiques plus rationnelles du pisé est difficilement envisageable pour une petite entreprise qui s'appuit sur la structure artisanale du travail du "maâlem" et de son équipe.

-Enfin, c'est bien fondamentalement l'adaptation de la conception architecturale à cette modernisation de l'outillage, aux pratiques de mise en oeuvre et de gestion plus rationnelle des chantiers en pisé qu'il faut relever. Le projet de Ait Ourir n'était pas suffisamment pensé dans ce sens pour pouvoir accepter une évolution assez radicale des pratiques de construction en pisé et le prototype de banche proposé par l'entreprise "Terre et Soleil" apparaît finalement peu innovant par rapport aux outillages traditionnels si ce n'est sa meilleure résistance à la poussée du damage qui lui permet de résister à la pression exercée par un fouloir pneumatique. L'expérimentation sur le pisé aurait gagné à avoir été abordée dans le sens d'une mise en oeuvre avec des coffrages grimpants permettant de réaliser des murs trumeaux solidarisés par des chaînages, solution qui, associée à une conception architecturale simple, aux formes réduisant au maximum les cas de

figure complexes (croisements de murs en "X", en "T" ou en "Z", par exemple) aurait permis une réelle évolution technique.



# BILAN DE L'AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## 1 - L'AIDE A LA CONCEPTION DES PROJETS

### Liminaire

Au-delà des missions préparatoires de définition et de programmation de l'opération "Marrakech, Habitat en Terre" qui étaient réalisées à la fin de l'année 1982 et au début de l'année 1983, un programme de recherches expérimentales appliquées, répondant à l'esprit des actions d'expérimentations menées par le programme REXCOOP était défini en mai 1983 dont on rappelle ici les principaux axes thématiques :

1 - Toitures et planchers
. Structures (portée courte et libération des espaces)
. Etanchéité (protection des toitures et durabilité)

2 - Protection de surface
. Protection architecturale adaptée au matériau terre : l'architecture comme "stabilisant"
. Qualité des enduits, badigeons et peintures : composition, dosages, préparation des supports, modes d'appliquation.

3 - Accessibilité, faisabilité technique et économique
. Production à moyen terme d'un habitat au moindre coût
. Souci d'économie dans les choix techniques et architecturaux
. Simplicité des systèmes constructifs et des modes de mise en oeuvre
. Suivi analytique du chantier : rendements, dépenses.

La définition de ce programme inaugurait le phasage opérationnel de l'aide à la conception architecturale des projets qui devait s'appuyer sur deux principaux supports de travail :
-la mise à la disposition des partenaires du projet (maître d'ouvrage, architectes et entreprises) de documents techniques de référence leur fournissant les bases théoriques d'une conception architecturale adaptée au matériau terre ;
-la réalisation de plusieurs missions d'assistance technique et architecturale au fur et à mesure de l'avancement de l'opération.

### La litterature technique mise à la disposition des partenaires

Trois principaux documents de références furent mis à la disposition des partenaires du projet :

a) CONSTRUIRE EN TERRE, Doat, P. ; Hays, A. ; Houben, H. ; Matuk, S. ; Vitoux, F. ; Editions Alternatives, Paris 1979, rééditions 1983, 1985.

b) VILLAGE-TERRE, Recommandations pour la conception des bâtiments du village terre de l'Isle d'Abeau, AGRA-UPAG, Plan Construction, Grenoble-Paris, 1982.

Un document original était réalisé par le CRATerre, avec la collaboration du GAITerre :

c) MARRAKECH 83, Habitat en Terre, Aide à la Conception Architecturale, CRATerre-GAITerre, Rexcoop, Paris, 1983, 232 p.

## Les missions d'assistance technique et architecturale

Dans le cadre de l'opération, le CRATerre a été chargé par le REXCOOP d'assurer une mission de coordination de l'assistance technique et architecturale auprès de l'ERAC-Tensift, des partenaires de la maîtrise d'oeuvre et des organismes du contrôle technique. Les missions devaient garantir la faisabilité technique de l'opération en assurant un contrôle des choix techniques et architecturaux aux phases d'APS, d'APD et de dossier d'exécution ainsi qu'un contrôle des procédures de lancement des appels d'offres, de la mise en place des filières de production des matériaux et de la réalisation des chantiers. A ces missions d'assistance technique et architecturale du CRATerre, devaient s'ajouter des missions de coordination des responsables du programme REXCOOP, des missions d'architectes français ayant participé au projet du Village Terre de l'Isle d'Abeau, collaborant avec les équipes de maîtrise d'oeuvre marocaine pour la conception des APS, et des missions de techniciens pour assister les opérateurs dans l'organisation de la production des matériaux (Altech Pact 500, Terre et Soleil, M. Acceta). Le calendrier des missions réalisées qui représente un temps cumulé de 14,5 mois, de février 1983 à février 1987, soit sur 4 ans est le suivant :

| | | |
|---|---|---|
| . Février 1983 | 1 semaine | P. Doat (CRATerre)<br>Ph. Michel (Plan-Construction) |

Objet : mission d'identification pour le montage d'une opération de logements en terre sur Marrakech auprès de l'ERAC-Tensift ; définition d'un projet de 60 logements.

| | | |
|---|---|---|
| . Avril 1983 | 2 semaines | P. Doat (CRATerre)<br>H. Guillaud (CRATerre) |



Objet : évaluation d'un programme d'assistance technique et architecturale, sensibilisation des partenaires marocains aux problèmes spécifiques que pose la construction en terre. Elaboration d'un programme d'études et d'enquêtes techniques sur l'architecture en pisé traditionnelle du sud marocain en liaison avec le GAITerre. Elaboration d'un cahier provisoire pour un programme d'expérimentation REXCOOP.

| | | |
|---|---|---|
| . Mai-sept. 1983 | 4 mois | CRATerre |

Objet : rédaction du document "Marrakech 83, Habitat en Terre, Aide à la conception architecturale".

| | | |
|---|---|---|
| . Juillet-août 1983 | 2 semaines | J.V. Berlottier,architecte<br>J.L. Pagnier, architecte<br>P. Wagner, architecte<br>N. Widmer, architecte |

Objet : mission d'assistance architecturale sur avant-projet sommaire des architectes ayant participé à l'opération du Village-Terre de l'Isle d'Abeau, auprès des architectes marocains. Définition des partis architecturaux et des principes des systèmes constructifs sur chacun des 3 projets.

| | | |
|---|---|---|
| . Novembre 1983 | 1 semaine | H. Guillaud (CRATerre) |

Objet : assistance architecturale sur avant-projet sommaire auprès des architectes marocains. Premières révisions des options de principe.

| | | |
|---|---|---|
| . Décembre 1983 | 1 semaine | J.V. Berlottier,architecte<br>J.L. Pagnier, architecte<br>N. Widmer, architecte |

Objet : deuxième mission d'assistance architecturale sur APS des architectes français auprès des équipes marocaines. Précisions apportées aux partis architecturaux et systèmes constructifs au-delà du premier point de vue critique du CRATerre et du Plan-Construction.

| | | |
|---|---|---|
| . Décembre 1983 | 1 semaine | D. Biau (REXCOOP)<br>H. Guillaud (CRATerre) |

Objet : avis conjoint du PCH, du CRATerre et de l'ERAC-Tensift sur les APS. Sélection des Bureaux d'Etudes Techniques, sensibilisation des entreprises et nouveau travail sur APS en présence des équipes marocaines.

. Janvier 1984 1 semaine J. Gumbau (Terre et Soleil)

Objet : étude du projet en pisé d'Ait Ourir avec l'équipe marocaine, calepinage du projet, expérimentation sur un prototype de banche à structure en acier avec l'entreprise Sotreci de Marrakech.

. Mars 1984 1 semaine H. Guillaud (CRATerre)

Objet : mission auprès de l'ERAC-Tensift, des équipes de maîtrise d'oeuvre et des Bureaux d'Etudes pour avis définitif sur les APS. Accord de principe sur projet Ait Ourir, demande d'un travail complémentaire sur les projets Koutoubia et Hay al Massira ; travail en commun avec l'ERAC-Tensift, les Bureaux d'Etudes et la DCTC pour élaborer un cahier des charges de la production des matériaux. Travail en commun avec le LPEE sur l'identification des carrières de terre et les premiers bilans d'analyses de laboratoire.

. Avril 1984 1 semaine M. Accetta, ingénieur

Objet : mission d'assistance technique auprès des producteurs locaux de matériaux en vue de lancer une filière de blocs de terre vibro-compactée. Expertise sur les unités de production semi industrielles locales.

. Mai 1984 1 semaine H. Guillaud (CRATerre)

Objet : participation au colloque international sur les économies d'énergie organisé par le Ministère de l'Energie et des Mines marocain. Communication sur les filières terres actuelles et la formation. Sensibilisation des institutions marocaines. Contacts avec l'Ecole Nationale d'Architecture de Rabat. Travail en commun sur APS des opérations Hay al Massira et Koutoubia avec les architectes marocains.

. Juillet 1984 4 jours CRATerre REXCOOP/PCH

Objet : séminaire d'information autour de l'opération du Domaine de la Terre de l'Isle d'Abeau, à l'Isle d'Abeau, Grenoble et Lyon, des opérateurs marocains (ERAC-Tensift, architectes, entrepreneurs, DCTC, GAITerre, BET Promoconsult, élus de Marrakech, CGI).

. Août-sept. 1984 2 semaines CRATerre

Objet : révision et version définitive du cahier des spécifications techniques pour la fabrication des matériaux de construction en terre.



. Septembre 1984 1 semaine C. Posma (pour le CRATerre)

Objet : mission auprès des architectes marocains pour affiner les choix techniques au stade de l'avant-projet détaillé. Calcul de structure sur projet Ait Ourir, recommandations sur projets Hay al Massira et Koutoubia

. Janvier-février 1985 1 semaine H. Guillaud (CRATerre)
3 semaines J. Estève (CRATerre)

Objet : mission d'assistance technique et architecturale sur avant-projet détaillé. Précisions techniques d'exécution apportées au projet Ait-Ourir, élaboration définitive des choix techniques et architecturaux des projets Hay al Massira et Koutoubia. Lancement de la phase de réalisation des dossiers d'exécution. Bilan des analyses de terre et essais d'identification avec le LPEE.

. Octobre 1985 1 semaine H. Guillaud (CRATerre)
P.E.Verney (CRATerre)

Objet : contrôle des dossiers d'exécution des projets, contacts avec des entreprises locales. Enquête de collecte de données économiques en vue de réaliser une étude de faisabilité sur les coûts matériaux et éléments de construction. Etablissement d'un protocole d'essais sur les matériaux avec le LPEE.

. Octobre 1985 2 semaines P.E.Verney (CRATerre)

Objet : réalisation d'une étude de faisabilité technico-économique sur les coûts matériaux et éléments de construction.

. Octobre 1985 2 semaines D. Turquin (Altech Pact 500)

Objet : mission d'assistance technique auprès de la PMCT, entreprise adjudicataire du marché matériaux de l'opération Hay al Massira. Mise en place d'une briqueterie sous contrôle du CRATerre et du LPEE.

. Novembre 1985 1 semaine D. Turquin (Altech Pact 500)

Objet : deuxième mission de contrôle de la production des blocs de terre comprimée sur le site de Hay al Massira.

. Mars 1986 1 semaine P. Doat (CRATerre)

Objet : suivi et contrôle de l'avancement des chantiers prototypes de chantiers prototypes de Ait Ourir et Hay al Massira.

| | | |
|---|---|---|
| . Avril 1986 | 1 semaine | P. Doat (CRATerre)<br>H. Guillaud (CRATerre) |

Objet : contrôle des chantiers en vue de leur inauguration officielle par les autorités marocaines nationales et locales. Assistance à la réalistion d'un séminaire international sur les matériaux locaux auprès de l'ERAC-Tensift. Communications au séminaire.

| | | |
|---|---|---|
| . Octobre 1986 | 1 semaine | H. Guillaud (CRATerre)<br>P.E.Verney (CRATerre) |

Objet : bilan-évaluation technico-économique de la phase prototype en liaison avec l'ERAC-Tensift, le BET Promoconsult, la DCTC et le LPEE.

| | | |
|---|---|---|
| . Février 1987 | 1 semaine | H. Guillaud (CRATerre)<br>P.E.Verney (CRATerre) |

Objet : évaluation technique, architecturale et économique des projets, rectifications de conception architecturale et technique pour le lancement de la phase "commerciale" des projets (2 tranches de 20 logements sur Ait Ourir et Hay al Massira), préparation de l'appel d'offres en liaison avec le BET Promoconsult et la DCTC. Séminaire de lancement de la phase chantier de la totalité des logements prévus sur Ait Ourir et Hay al Massira, en liaison avec la DCTC, le LPEE, le BET Promoconsult et des entreprises marocaines susceptibles de répondre à l'appel d'offres.



# BILAN DE L'AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## 2 - L'EVOLUTION DES PROJETS

### Liminaire

L'opération "Marrakech, Habitat en Terre" prévoyait, à l'issu de la formulation définitive du programme, la réalisation de trois projets dont la taille (20 logements) était justifiée par son caractère expérimental. Cette Rexcoop-Terre était clairement située dans le cadre d'une recherche appliquée à la production d'un habitat économique adapté au contexte culturel et social de la région.

Les objectifs visaient en premier lieu la réhabilitation du matériau terre et son adaptation à la construction économique du fait de son faible contenu énergétique et de sa forte tradition culturelle. Il s'agissait dans un premier temps, d'améliorer la faisabilité technique et économique du matériau dans le secteur organisé de la construction marocaine. Il semblait par ailleurs capital d'ouvrir les voies devant permettre de vaincre les obstacles d'ordre psychologique et social liés aux difficultés d'acceptabilité du matériau terre par les opérateurs de l'acte de bâtir. Pour cela, le maître d'ouvrage souhaitait réaliser une opération de standing et de démonstration exemplaire. Enfin, l'opération devait contribuer à la renaissance d'un savoir-faire tombé en désuétude dans le secteur formel et poser les bases de nouvelles orientations technologiques et techniques au service de la réalisation d'un habitat économique.

Compte-tenu de l'image de la construction en terre, des procédures de financement et de crédit en vigueur, de la volonté de s'assurer d'une reproductibilité de l'opération, il était nécessaire de faire une démonstration portant sur :

-des types de logements diversifiés pour toucher une clientèle variée,
-des équipements de quartier pour plus de crédibilité au niveau de la communauté,
-des modes de mise en oeuvre de la terre modernes et d'un haut niveau technologique à même de garantir une qualité identique à celle des logements habituellement réalisés par l'ERAC-Tensift.

Les coûts de construction visés devaient s'inscrire pour les logements les plus économiques, dans la limite des 1.000 DHS au mètre carré.

Trois sites ont été sélectionnés, adaptés à trois populations-cibles :

-zone urbaine, logements individuels standing type villas, quartier Amerchich,
-zone péri-urbaine, logements individuels groupés ou en bande de moyen standing, quartier Hay al Massira
-zone semi-rurale, logements individuels économiques, type habitat traditionnel amélioré, Ait Ourir.

Chacun de ces trois projets a été conçu dans le cadre d'une étroite collaboration entre le maître d'ouvrage, les maîtres d'oeuvre marocains sélectionnés, des architectes français apportant leur concours au stade de l'APS et avec l'assistance technique et architecturale du CRATerre et du GAITerre. On rend compte ici, synthétiquement, des différentes phases d'évolution de cette conception architecturale, de l'APS aux prototypes achevés.

## 2.1 LE PROJET AIT OURIR

### Rappel du programme

- Situation : centre d'Ait Ourir, province de Marrakech

- Superficie : 5.000 m2

- Programme : 20 logements individuels économiques, 1 four Hammam, 10 commerces

- Caractéristiques : la surface des parcelles est de 110 m2 maximum constructibles avec possibilité de R + 1

- Logements :
1 séjour : 25 m2 maximum
1 à 2 pièces : 12 à 15 m2 maximum
1 salle de bain-toilettes : 12 m2 maximum

- Four Hammam
four : 100 m2
Hammam : 400 m2 hommes-femmes

- 10 commerces : 20 m2 par boutique

### Architectes du projet

Mme Malak Laraki, architecte à Marrakech
M. Abdelkader Chekkouri, architecte à Marrakech



A ces propositions de principe de la maîtrise d'oeuvre, devait être apporté en novembre 1983, l'avis suivant, permettant de préciser ou d'affiner les options techniques et architecturales :

-bonne situation des options techniques prises par rapport aux objectifs d'expérimentation du cahier des charges REXCOOP,

-acceptation de la solution murs en pisé et cloisons en blocs de terre,

-acceptation de principe sur système de plancher à poutrelles béton et voûtains en terre stabilisée sur coffrage en roseaux, sous réserve d'une simplicité d'exécution et d'un allègement des charges. Viser une réduction des portées avec arcs ou encorbellements, réduisant les distances d'appui,

-étudier plus soigneusement le mode de mise en oeuvre des voûtes sur coffrages en roseaux pour les équipements et s'assurer de la conformité du plan de toiture avec une simplicité d'exécution,

-préciser le choix de module des blocs de terre pour exploiter les possibilités structurales et d'appareillages : épaisseur des murs en blocs et calepinage,

-préciser les solutions de chainages pour une bonne répartition des charges de planchers,

-éviter le couple terre stabilisée + enduits,

-privilégier les solutions de protection de nature architecturale : "L'architecture comme stabilisant",

-accord de principe sur la protection en "dess" sur les terrasses,

-réduire au maximum l'emploi du taddelakt, coûteux, en enduit et de la brique cuite artisanale en décor et modénature,

-enduits intérieurs en terre + plâtre, ou en plâtre,

-soigner les systèmes de chapeaux des acrotères,

-étudier soigneusement les solutions de drainage des murs,

-bonne situation générale des options prises par rapport aux objectifs de faisabilité technique et économique et de reproductibilité des solutions.

B - Les choix techniques définitifs sur APS

A l'issue de la conception des APS (début de l'année 1984), les choix techniques de base étaient retenus pour l'essentiel avec des précisions à apporter au stade de l'APD. Le bilan sur phase APS d'avril 1984 permettait de confirmer ces choix techniques sans remettre fondamentalement en question le parti architectural du projet Ait Ourir qui décrivait trois types (A, B et C) de logements implantés en deux couples de bandes mitoyennes et symétriques encadrant sur deux côtés l'équipement de four Hammam et de commerces. La clôture de la phase APS permettait de préciser les points suivants :

-calepinage précis des murs en pisé en fonction du module de banche type "Terre et Soleil",

-stabilisation des parties de murs en pisé les plus exposées aux risques d'intempéries ou enduissage (chapeaux d'acrotère, tableaux de baies),

-solutions de linteaux en béton en baies de façades et arcs en briques en passages intérieurs (portes) et accès patio,

-protection des angles saillants de murs en pisé en matériaux "durs" (briques cuites ou bandes d'enduits, couvre-joints),

-soubassement en galets de l'oued non enduit en parement extérieur, plinthes en intérieur,

-taddelakt en enduit intérieur des pièces humides seulement,

-descentes d'eau dissociées des murs en manchons de terre cuite vernissée ou en PVC avec réception dans des regards, siphons de sol en patios.

## Bilan sur la phase APD et dossier d'exécution des prototypes

La fin de l'année 1984 et le début de l'année 1985 étaient réservées à l'aboutissement du dossier d'exécution.

Du point de vue des dispositions constructives, les plans d'exécution confirmaient les principales options prises en APS et APD à l'exclusion des systèmes de planchers à poutrelles et voûtains de terre stabilisée sur coffrages en roseaux et des systèmes de voûtes couvrant les cages d'escaliers qui étaient abandonnés au profit de planchers à poutrelles et voûtains de briques comprimées coffrés. Une mission d'assistance technique sur dossier d'exécution réalisée en janvier et février 1985 permettait d'arrêter définitivement les choix d'exécution



et le traitement graphique des détails de mise en oeuvre pour les planchers et chaînages, chapeaux d'acrotères, calepinage des banchées et des hauteurs de baies, détails des passages de linteaux et appuis de baies, solutions d'arcs en briques cuites et leur liaison avec le pisé, structure des escaliers avec leurs plans distincts en fonction des types de logements. Enfin, pour des raisons d'économie il était convenu d'abandonner le parti des terrasses accessibles.

## Réalisation des prototypes et modifications pour les projets futurs

Les chantiers prototypes d'Ait Ourir n'ont finalement démarré qu'en fin d'année 1985 du fait de difficultés à obtenir les autorisations d'exploitation des carrières identifiées.

Finalement, les deux prototypes d'Ait Ourir (type B et C), réalisés par l'entreprise SOTRECI, M. Karrakchou, étaient partiellement inaugurés (rez-de-chaussée et 1er plancher) à l'occasion du séminaire d'avril 1986 et totalement achevé en juillet 1986.

Les deux prototypes achevés d'Ait Ourir, de bonne qualité architecturale, échappait à la catégorie de logements initialement prévue, soit celle de logements individuels économiques. Ces deux logements réalisés par le dimensionnement des espaces et des volumes et par le degré de finition correspondaient davantage à une catégorie moyen standing, voire standing. Aussi, pour s'assurer de la faisabilité de la continuation du programme, le bilan de la phase prototype établi en octobre 86 devait préciser les orientations suivantes tout en conservant le parti architectural et technique des maîtres d'oeuvre :

-réduction des surfaces hors-oeuvre des logements à 100 m2 (les prototypes faisaient 170 m2 HO pour le type C et 151 m2 HO pour le type B),

-réduction des hauteurs sous-plafond à 2,50 m (au lieu de 3,00 m)

-optimisation du développé de murs (économie de matériaux)

-réduction optimale de la modénature de façade en briques cuites (frises de chainages p.e.),

-gobetage extérieur en terre + chaux au lieu de l'emploi systématique d'un taddelakt,

-adoption du système de plancher à voûtains de plâtre armé de filasse et poutrelles béton au lieu des voûtains en blocs de terre avec optimisation des entre-axes,

## Assistance à la conception architecturale sur APS

Mme Régine Chareyre, architecte à Lyon
M. Jean-Luc Pagnier, architecte à Lyon

## Entreprise des prototypes

SOTRECI, M. A. Karrakchou, Marrakech

## Bilan sur la phase APS

### A - Les choix techniques de base

La note technique sur APS élaborée par les maîtres d'oeuvre du projet Ait Ourir en août 1983 définissait le choix des filières matériaux et les principes de solutions constructives :

-l'emploi du pisé, e = 0,50 m, pour les maçonneries porteuses avec une orientation sur l'expérimentation de nouvelles banches et l'amélioration des modes de mise en oeuvre,

-l'utilisation d'adobes ou de blocs de terre comprimée pour les cloisons et les murs de clôture,

-le galet de l'oued pour le soubassement maçonné, h = 0,50 m,

-des planchers mixtes à poutrelles type PPB et voûtains en terre coffrés sur roseaux,

-voûtes pour les équipements et pour les paliers d'escaliers coffrés sur roseaux ; maçonnerie en adobe ou blocs comprimés,

-chaînages béton armé pour les murs en pisé au passage des planchers, avec frise décorative extérieure en briques cuites,

-terrasses sur planchers à poutrelles et voûtains en terre stabilisée coffrée sur roseaux, protection en "dess" traditionnel,

-protection des points sensibles : acrotère enduit à la chaux et chapeau traditionnel en roseaux + dess, enduissage des tableaux de baies au taddelakt, enduit de façade, suivant nécessité (façades exposées) à la chaux aérienne avec gobetis et corps d'enduit en 2 couches.

Cette première note technique d'août 1983 était accompagnée d'un dossier d'APS qui proposait trois types (A, B et C) de logements.



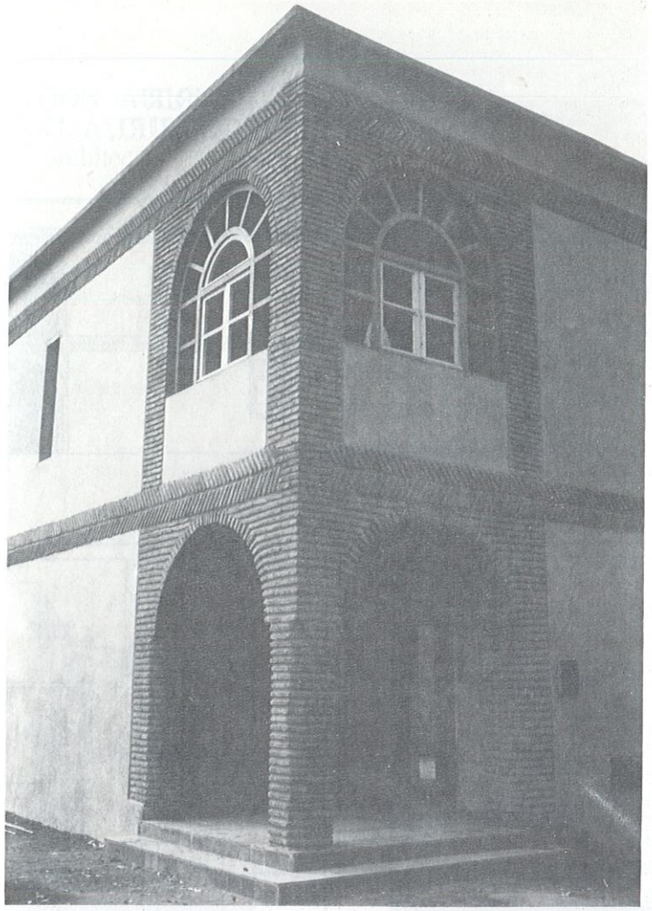


photo : CRATerre

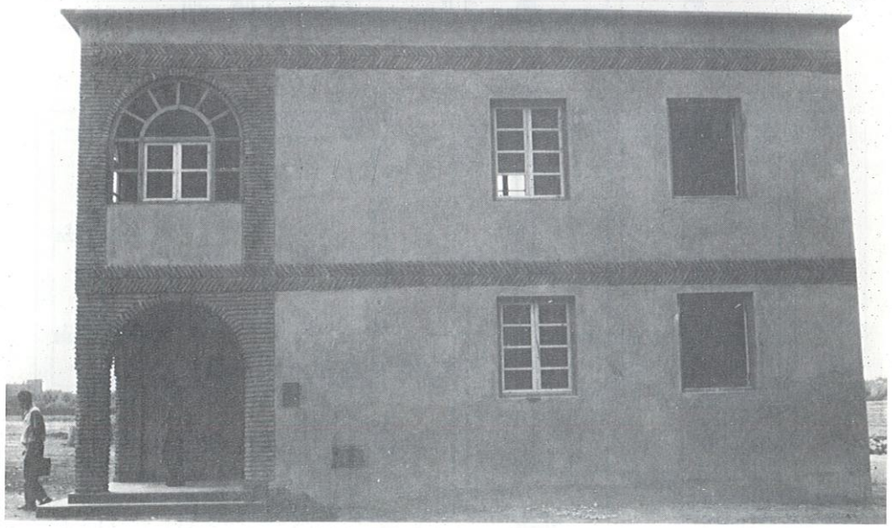
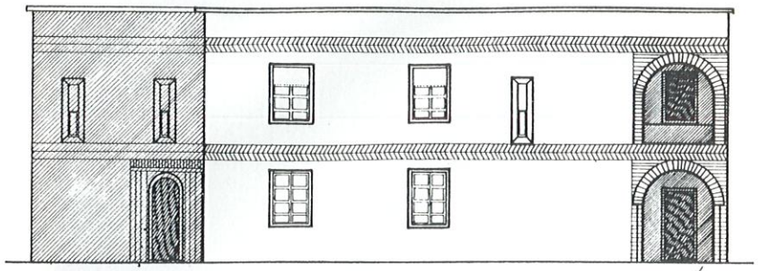
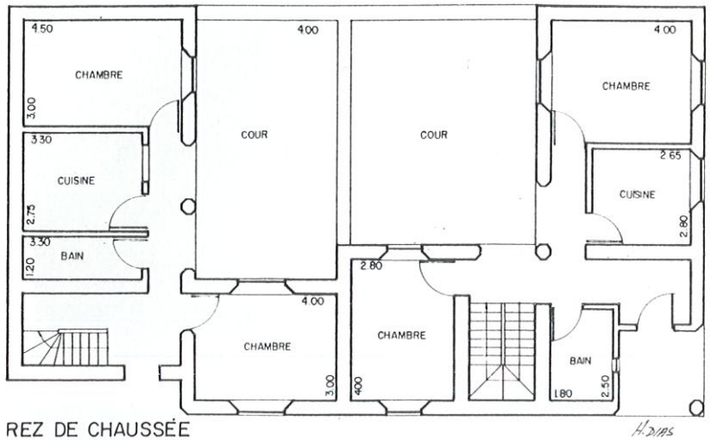


photo : CRATerre

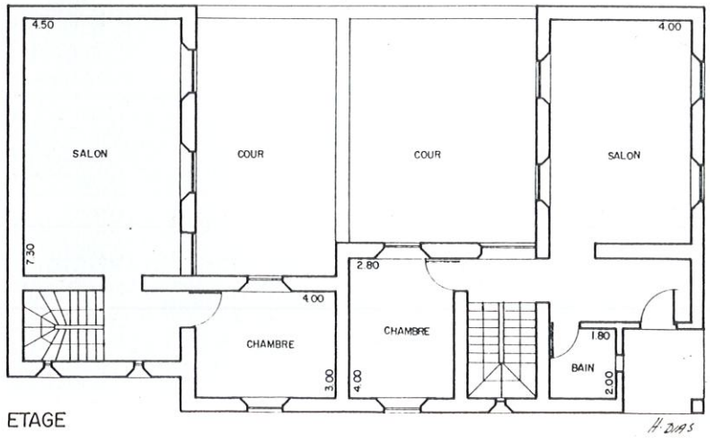
# OPERATION "AIT OURIR"
## M. LARAKI, A. CHEKKOURI,
architectes



FACADE



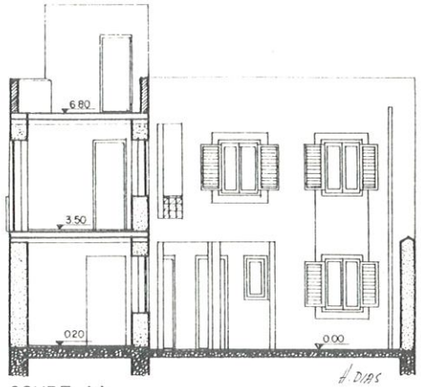

REZ DE CHAUSSÉE



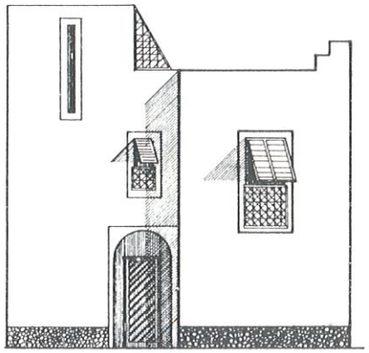

ETAGE



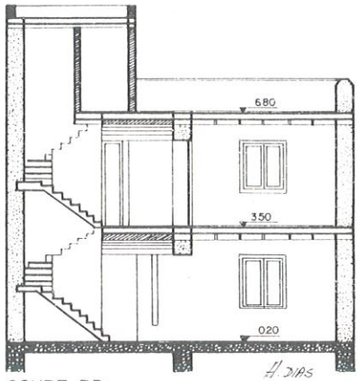
OPERATION "AIT OURIR"
M. LARAKI, A. CHEKKOURI,
architectes



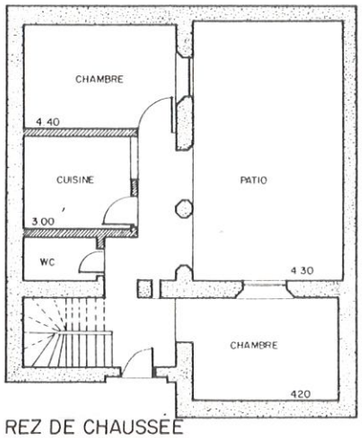

COUPE AA



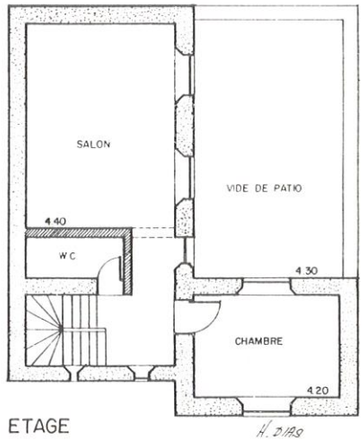
FACADE




COUPE BB

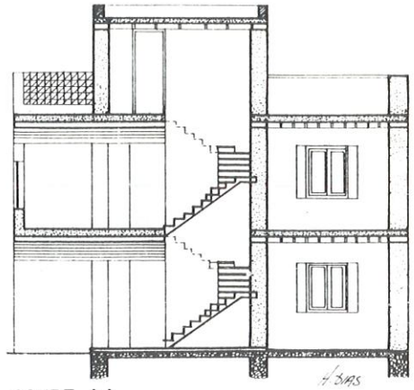



REZ DE CHAUSSÉE

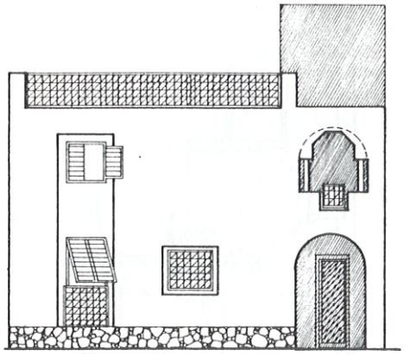



ETAGE

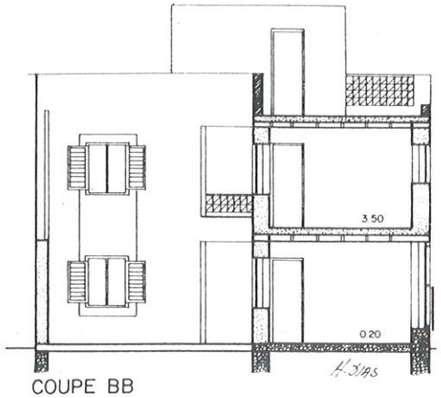
OPERATION "AIT OURIR"
M. LARAKI, A. CHEKKOURI,
architectes



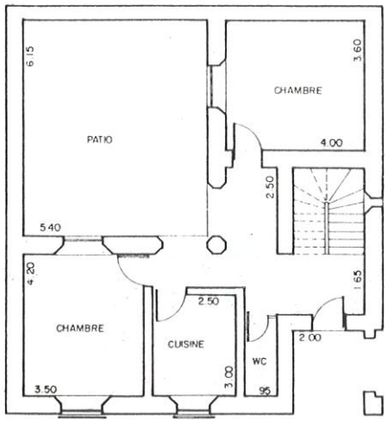
COUPE AA



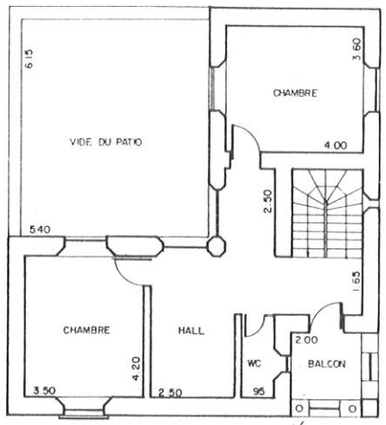
FACADE




COUPE BB




REZ DE CHAUSSEE




ETAGE



-optimisation du nombre des ouvertures (trop nombreuses).

Ces propositions n'allaient pas dans le sens d'une paupérisation du projet mais visaient le respect du programme initial vis-à-vis duquel d'importantes dérives avaient été prises.

Il était surtout recommandé de faire une réelle démonstration de modernisation des modes de mise en oeuvre en utilisant des coffrages et des modes de compactage adaptés et en révisant le parti structural (calepinage des banchées) en conséquence. Des solutions de construction en panneaux de murs en pisé de type trumeaux solidarisés par un chainage, avec allèges de baies indépendantes en blocs de terre comprimée, pour le rez-de-chaussé, et une maçonnerie d'étage en blocs de terre comprimée ou en adobes étaient proposées aux maîtres d'oeuvre du projet d'Ait Ourir et présentées en séminaire d'information des entreprises, à l'ERAC-Tensift, en février 1987.

## 2.2. LE PROJET HAY AL MASSIRA

### Rappel du programme

-Situation : ville de Marrakech, extension ouest.

-Superficie : 4.500 m2.

-Programme : 20 logements individuels de moyen standing, 1 maison de jeunes.

-Caractéristiques : la surface des parcelles est de 150 m2 maximum constructible avec possibilité de R + 1.

-Logements
1 séjour = 25 m2 maximum
1 à 3 pièces = 12 à 18 m2 maximum
1 cuisine = 15 m2 maximum
1 salle de bains - toilettes = 12 m2.

-Maison de jeunes = 900 m2 maximum.

### Architectes du projet

M. Chorfi, architecte à Rabat

### Assisance à la conception architecturale sur APS

M. Berlottier, architecte à Bourg-en-Bresse

## Entreprise des prototypes

M. Elie Mouyal, ERCT, Marrakech

## Bilan de la phase APS

### A - Les choix techniques et architecturaux de base

La notice technique des maîtres d'oeuvre du projet Hay al Massira, rédigée en août 1983 précisait le parti architectural et les approches techniques d'APS.

Les options architecturales :

Le parti du projet était essentiellement basé sur une réponse architecturale à l'ensoleillement avec une orientation et une large ouverture au sud. Un jeu de porte-à-faux successifs, ou encorbellements, devait ombrager les façades en été tout en laissant pénétrer le soleil en hiver. L'ensemble des logements, en mono-orientation au sud, traitant du même coup les problèmes de vis-à-vis directs, chaque logement regardant la façade arrière du logement le précédant et un jardin privatif étant dimensionné de façon à contrôler les effets de masque solaire en hiver. Cette disposition imposait une distribution intérieure du plan en "peigne" avec murs de refend perpendiculaires aux façades nord et sud et les espaces au sud, alors que les circulations étaient repoussées au nord. Des solutions en duplex et en simplex superposés étaient étudiées dans le souci d'optimiser le plan masse tout en veillant à contrôler les problèmes de vis-à-vis directs.

Options techniques générales :

Les maîtres d'oeuvre souhaitaient aboutir à une architecture dont la qualité des formes et des détails ne permettrait pas, a priori, une identification "terre" afin de ne pas alimenter les préjugés défavorables au matériau. La technique qui devait être utilisée était le bloc de terre comprimée, l'ensemble de 25 logements + espace culturel permettant d'amortir une logistique "blocs". Les architectes étaient conscients, dès le départ, de l'obligation d'identification précise du type de blocs qui pourrait être employé sur leur projet et de l'obligation préalable de lancement d'une production ou de mise à disposition d'une fourniture avant l'élaboration définitive du dossier d'exécution. Les solutions constructives initialement prévues étaient les suivantes :

-Fondations et soubassement : semelles et longrines en BA, soubassement en béton cyclopéen avec galets d'oued ou en agglos de ciment.



-Murs en blocs de terre aux dimensions correspondantes à l'épaisseur des ouvrages de fondations et soubassement en béton ou agglos, soit, 20 x 20 x 40 cm (type filière vibro-compactée de l'Isle d'Abeau).

-Façades à encorbellement avec deux solutions de report de leurs charges, soit en arcades en s'efforçant de réduire la variété de dimensionnement des cintres selon la taille des travées de pièces, soit en poutre de béton, solution qui avait la préférence des architectes car elle pouvait aussi constituer un cadre chainage.

-Façades verticales de côté et d'arrière percées de petites ouvertures à linteaux en encorbellement ou en plate-bande, appuis en briques cuites.

-Murs de refend épais permettant d'aménager des niches et des placards avec franchissements en arcs plein-cintres.

-Planchers intermédiaires de type traditionnel au Maroc, soit en terre sur solivage en bois ou poutrelles béton, plafonnage en roseaux croisés, décoratifs, forme de finition de sol en terre stabilisée et revêtement type carrelage ou granito.

-Planchers de toitures terrasses de conception traditionnelle identique aux planchers intermédiaires avec forme de pente en pisé compacté et protection de surface en "dess" traditionnel. Pour les terrasses accessibles, le revêtement de finition serait en chape béton et granito coulé relevé en plinthe contre l'acrotère.

-Têtes d'acrotères à chapeau de briques cuites avec pentes uniques vers terrasse.

-Descentes des eaux pluviales et usées avec chutes extérieures au bâtiment, en façade nord ou en façade sud en profitant des encorbellements.

A ces propositions de principe de la maîtrise d'oeuvre du projet Hay al Massira, devait être apporté un premier avis, en novembre 1983 :

-Préciser la structure des planchers de type traditionnel (à solivage bois ou poutrelles BA), massifs ou en voûtains.

-Viser une simplification de la mise en oeuvre de ces planchers et un allègement des charges.

-Exploiter des solutions de portées courtes en arcs pour les plus grands espaces.

-Réduire au maximum le registre de dimensionnement des franchissements en arcs sur les façades.

-Arrêter précisément le type de blocs de terre choisi et l'option de stabilisation ou non stabilisation.

-Réduire l'emploi du béton armé à la seule fonction de chainage des murs.

-Alléger le système d'encorbellement de façade.

-Eviter le couple terre stabilisée + enduits,

-Développer les principes de protection architecturale : "l'architecture comme stabilisant",

-Soigner les solutions de drainage des bâtiments.

-Revoir la simplification technique de l'ensemble du projet et son économie qui semblait, en l'état des premières propositions, peu assurées par rapport aux objectifs d'accessibilité et de faisabilité technique et économique.
Les options principales du parti architectural et des dispositions techniques étaient conservées et confirmées par une deuxième note technique de janvier 1984 avec toutefois quelques variantes qui apportaient des réponses au premier avis de novembre 1983.

-Utilisation du bloc de terre non stabilisé en partie courante et stabilisé en partie basse des murs, modules 20 x 20 x 40 en façades et module 29,5 x 14 x 9 pour les refends intérieurs et arcades de niches et placards.

-Les murs de refend porteurs pouvaient être remplacés par une succession d'arcades exploitées pour des passages libres, des baies avec allèges entre les pièces, des niches et des placards.

-Une variante de plancher à poutrelles et hourdis de terre-paille ou voûtains de briques de terre.

-Les enduits extérieurs en terre + chaux.

Cette deuxième notice technique précisait les options de calepinage des encorbellements en blocs de 20 x 20 x 40 et des solutions de franchissement de baies exploitant le principe de l'encorbellement en linteau. Des solutions d'optimisation de la climatisation naturelle avec



apport d'air frais par le nord et des solutions de coffrages des planchers étaient étudiées.

B - Les choix définitifs sur projet APS

A l'issue de la conception des APS (début de l'année 1984), les choix architecturaux et techniques de base étaient confirmés par les maîtres d'oeuvre sur un dossier d'avant-projet au 1/100ème. Deux principaux types de cellules étaient proposés exploitant l'option de maçonnerie porteuse en blocs de 20 x 20 x 40 (épaisseur 40) et refends épais en blocs de 29,5 x 14 x 9 (épaisseur 60 avec arcades). Le bilan de phase APS d'avril 1984 devait apporter les précisions suivantes :

-Acceptation du principe d'encorbellement de façade allégé avec lames de bois en brise-soleil au lieu d'une poutre en béton.

-Insistance particulière sur l'identification définitive de la filière bloc de terre qui serait exploitée en recommandant le lancement d'une production locale avec les producteurs de matériaux de Marrakech.

-Acceptation du principe de refend à arcades en blocs 29,5 x 14 x 9, veiller au calepinage précis de ces ouvrages.

-Acceptation du système de plancher à poutrelles BA et voûtains coffrés en blocs de terre. Réserves sur le système à hourdis en terre-paille du fait des difficultés à assurer la fiabilité d'une production foraine locale.

-Révision des options structurales qui appesantissent le système constructif en exploitant une logique béton plutôt que terre : linteaux en surlargeur des chaînages sur les ouvertures en encorbellement de façade.

-Contestation des menuiseries à impostes en pointe s'inscrivant dans des tableaux en encorbellements pour des raisons de difficultés de finition et de risque de mauvaise étanchéité.

-Associer aux gargouilles de façades nord une protection de surface des murs.

-Eviter les solutions complexes d'appareillages avec angles saillants et croisements tri-directionnels ou courbure des cages d'escaliers en façade.

## Bilan sur la phase APD et dossier d'exécution

La fin de l'année 1984 et le début de l'année 1985 étaient réservés à l'aboutissement du dossier d'exécution. Une mission d'assistance architecturale et technique réalisée en janvier 1985 devait permettre d'aboutir la conception du projet Hay al Massira et largement contribuer à la révision nécessaire du parti et des dispositions constructives jusqu'alors considérées comme trop complexes et participant davantage d'une logique béton plutôt que terre. La conception des logements de type bi-familial en R + 2 était remise en question du fait de la complexité du parti architectural et de la structure risquant de gréver les coûts d'exécution. Des modifications importantes doivent être apportées en vue de proposer une structure porteuse en blocs de terre, cohérente et économique. Des solutions de structures en refends porteurs et remplissages extérieurs associant les 2 modules de blocs 20 x 20 x 40 et 29,5 x 14 x 9 (franchissements) étaient étudiées dans le sens d'une recherche d'économie et de simplification des réponses techniques. Plusieurs propositions de plans étaient faites (type A à H) les derniers plans de type F, G et H définissant finalement les prototypes qui seraient réalisés en phase de chantier expérimental. Ces plans proposaient une homogénéisation du principe de structure, soit en blocs de 20 x 20 x 40, soit en blocs de 29,5 x 14 x 9 et une simplification de la distribution fonctionnelle des espaces autour d'un patio ouvert. Le principe du logement en R + 1 avec façade principale au sud, distribution d'escalier à l'arrière en travée centrale, accès sur le côté arrière allait être définitivement adopté.

## Réalisation des prototypes et modifications pour les projets futurs

En octobre 1986, M. Chorfi proposait sa version définitive des plans de l'opération Hay al Massira avec des solutions constructives en blocs de 29,5 x 14 x 9 et le principe de la travée centrale de distribution occupée par un hall-escalier donnant sur une terrasse en "U" encadrée sur ces deux principaux côtés par les avancées de séjour-cuisine d'une part et salon d'autre part, et chambres à l'étage. Des variantes en allongement du plan étaient proposées selon le type de logement.

Finalement, sur les deux prototypes réalisés, le prototype correspondant au plus petit logement était construit en blocs de 20 x 20 x 40 et le plus grand type en blocs de 29,5 x 14 x 9. La mise en route en octobre 86 de la filière de production de blocs type Altech Pact 500, sur le site de Hay Massira permit d'ouvrir très rapidement la construction du chantier. A l'occasion du séminaire d'avril 1986, le prototype en blocs de 29,5 x 14 x 9 était inauguré par le ministre de



l'Habitat et les élus locaux et le deuxième prototype en blocs de 20 x 20 x 40 était avancé au niveau du rez-de-chaussée et pose des poutrelles de plancher. L'ensemble de l'opération était réceptionnée en juillet 1986 et confirmait la faisabilité de la filière bloc type Altech Pact 500 alors qu'elle remettait en question la filière blocs 20 x 20 x 40 type SBBM. Pour s'assurer de la faisabilité technique et économique de l'achèvement total de l'opération, le bilan-évaluation de la phase prototypes d'octobre 1986 donnait les recommandations suivantes :

-Réduction des surfaces HO à 100 m2 pour les logements de 4 pièces + cuisine, soit un retour aux exigences initiales du programme (les prototypes réalisés faisaient 140 m2 HO pour le plus petit et 165 m2 HO pour le plus grand).

-Réduction des hauteurs sous-plafond à 2,50 m avec optimisation des développés de murs (économie de matériau),

-Eviter l'emploi de blocs creux vibro-compactés tant que la filière n'apportera pas la preuve de sa fiabilité technique et économique.

-Réduction de l'épaisseur des murs de clôture et suppression du doublage d'épaisseur des murs de clôture mitoyens.

-Diminution de l'épaisseur des acrotères du fait que les terrasses sont inaccessibles.

-Etudier pour les planchers une solution à poutrelles BA et voûtains de plâtre armé de filasse (type de la solution adoptée sur Ait Ourir) ou passer à un système traditionnel à poutrelles BA et hourdis en agrégats et ciment. Optimiser l'entre-axe des poutrelles.

-Préférer l'emploi d'escaliers sur paillasses en béton plutôt que sur paillasses en maçonnerie de brique de terre.

-Réduction du nombre des fenêtres en façade (1 fenêtre sur travées de 2,65 m à 2,90 m au lieu de 2 fenêtres sur travées de 3,30 m à 3,50 m)

-Réduire les prestations d'équipement intérieur.

-Optimiser la surface de taddelakt dans les salles-de-bains/toilettes.

Ces dispositions, tout en respectant les principes du parti architectural et constructif de l'architecte allaient dans le sens d'une réponse par rapport aux objectifs du programme initial et notamment d'une réelle démonstration de qualité architecturale associée à une faisabilité économique et une reproductibilité des solutions adoptées.

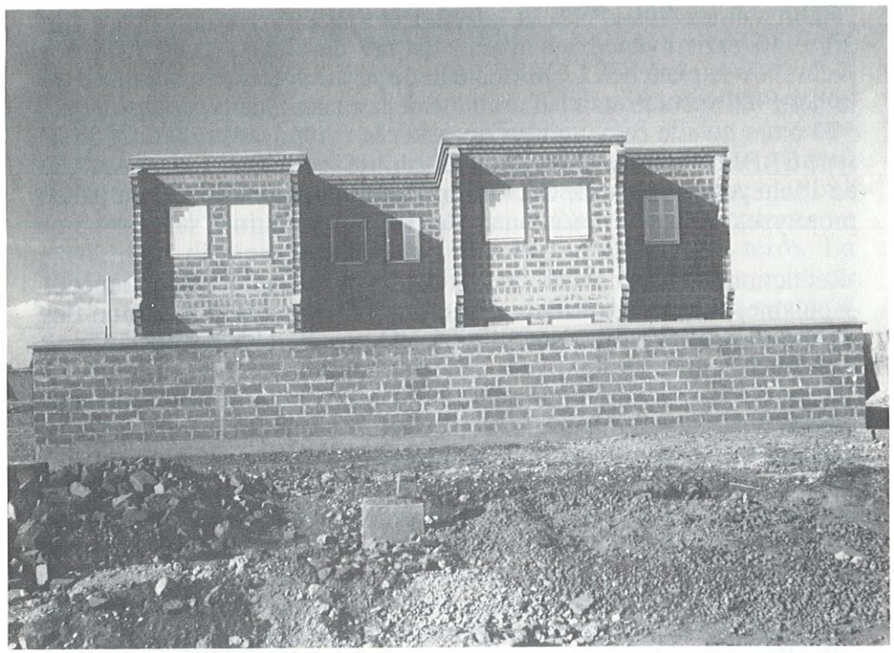


photo : Christian LIGNON

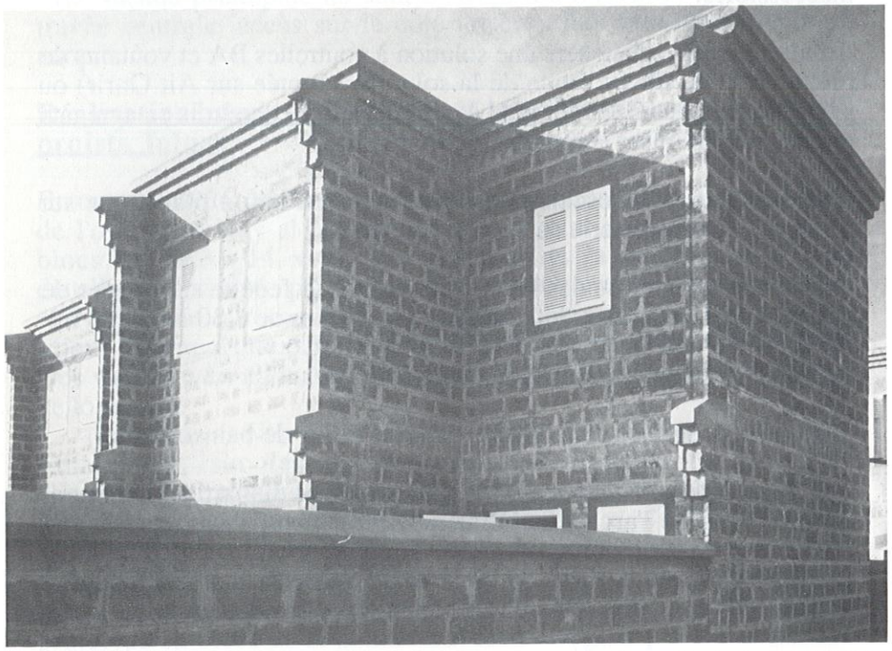
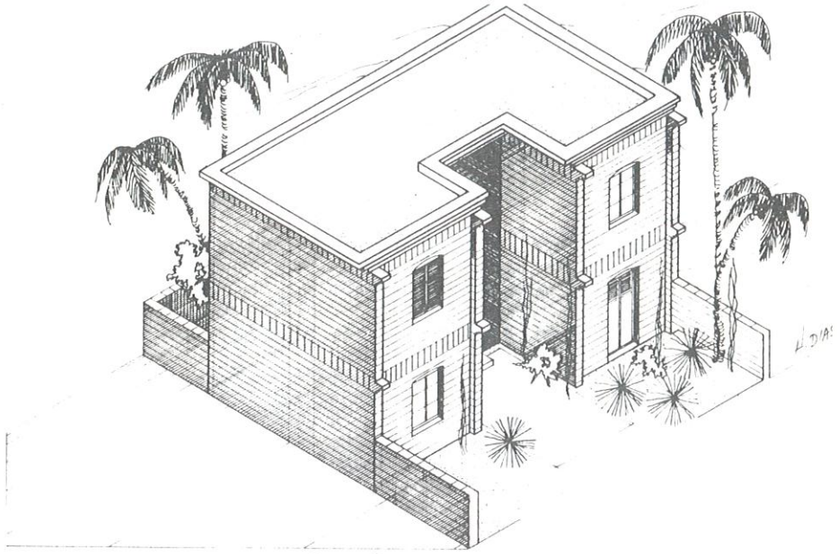
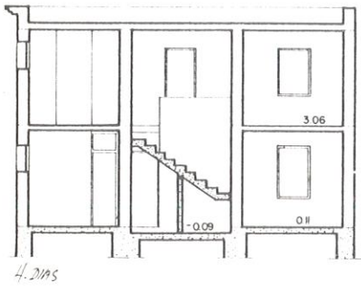


photo : Christian LIGNON





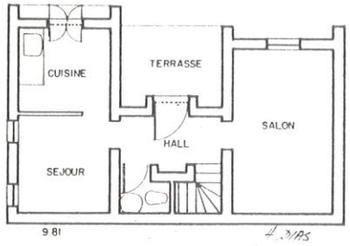
PROJET HAY AL MASSIRA
A. CHORFI, architecte



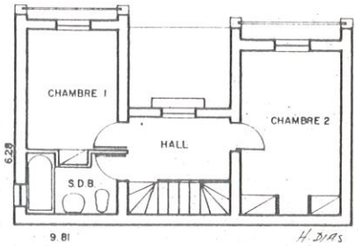

COUPE

FACADE

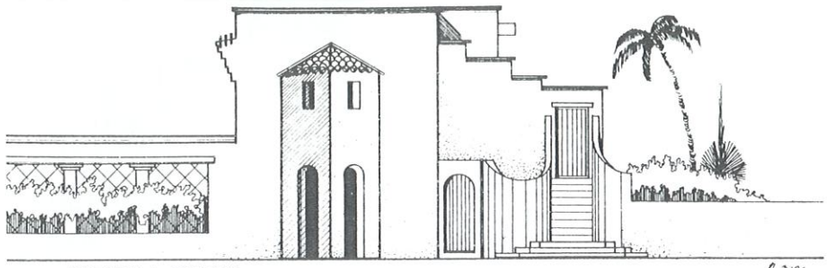
REZ DE CHAUSSÉE



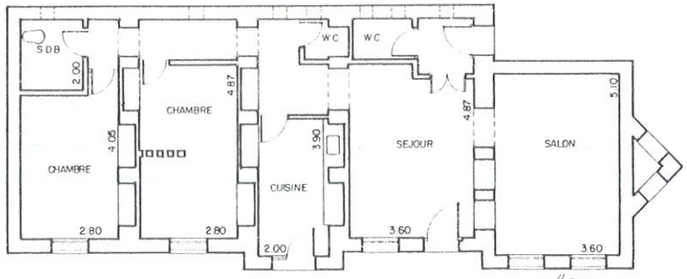

ETAGE



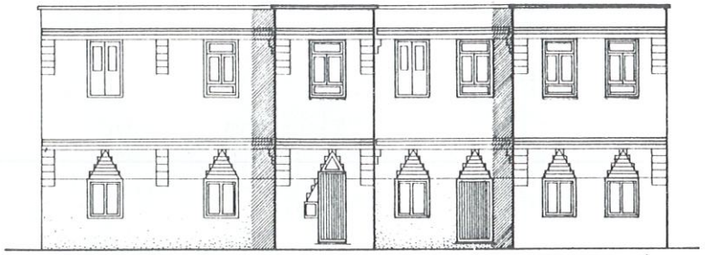
PROJET HAY AL MASSIRA. Projet Rexcoop. "Marrakech, Habitat en terre". Maîtrise d'ouvrage : ERAC-Tensift. Maîtrise d'oeuvre : A. CHORFI, architecte à Rabat. Chantier 1985-1986.



FACADE LATERAL

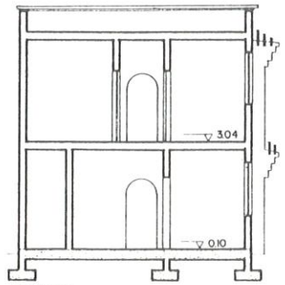



PLAN

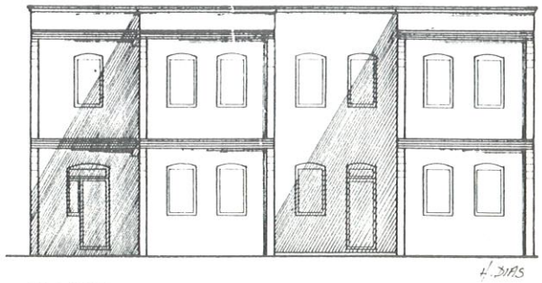


FACADE PRINCIPAL



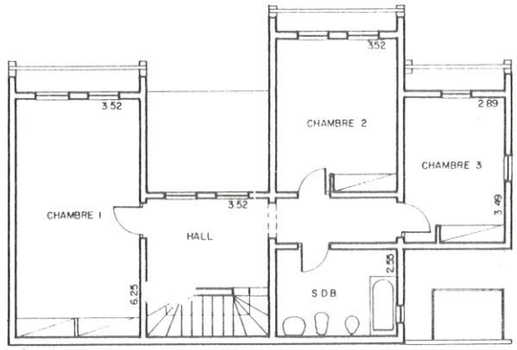



COUPE

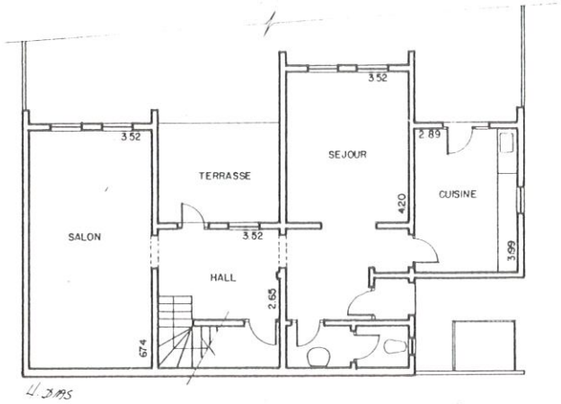


FACADE

PROJET HAY AL MASSIRA
A. CHORFI, architecte




ETAGE




REZ DE CHAUSSÉE

Une version définitive du projet Hay al Massira, adaptée au lancement de la phase ultime de réalisation (20 logements supplémentaires) était présentée au séminaire de lancement de la phase commerciale de février 1987 et retenait toute l'attention des entreprises par sa réelle qualité.

## 2.3. LE PROJET KOUTOUBIA

### Rappel du programme

-Situation : ville de Marrakech, quartier Amerchich

-Superficie : 4.800 m2

-Programme : 20 logements individuels standing, 1 four Hammam, 1 garderie

-Caractéristiques : la surface des parcelles est de 200 m2 maximum contructibles en R + 1

-Logements
1 séjour = 30 m2
3 à 4 pièces = 12 à 20 m2 maximum
1 cuisine-buanderie = 18 m2 maximum
1 salle-de bains et toilettes = 12 m2 maximum

-Four Hammam
Four : 100 m2
Hammam : 400 m2 hommes et femmes

-Garderie : 300 m2

### Architectes du projet

M. Sigelmassi, architecte à Casablanca

### Assistance à la conception architecturale sur APS

M. Nicolas Widmer, M. Paul Wagner, architectes à Gap.

### Bilan sur phase APS

A - Les choix techniques et architecturaux de base

La notice technique des maîtres d'oeuvre du projet Koutoubia, rédigée en septembre 1983 précisait les options de conception architecturale et de conception technique de l'APS.



Les maîtres d'oeuvre opposaient deux types de conception en terme culturel et fonctionnel, la conception traditionnelle, maison introvertie organisée autour du patio, contestée car assimilée à l'inconfort, la pauvreté et la terre, et la conception européanisée, maison extravertie, ouverte sur l'extérieur. Entre ces deux conceptions, un monde de solutions. La maison traditionnelle, organisée autour de la fonction réception est largement dimensionnée et le patio s'accomode bien d'une échelle importante mais, aujourd'hui, l'échelle des bâtiments est plus petite et la conception traditionnelle en est bouleversée, le patio devient un simple lieu de circulation et de distribution étriquée des espaces. Les maîtres d'oeuvre désiraient conserver l'esprit de la tradition, le patio pouvant devenir extérieur à l'habitation et clôturé ou pouvant devenir commun à plusieur habitations. Mais il ne s'agit alors plus de patio mais plutôt de cour ou de place. Cette réflexion conduisait les maîtres d'oeuvre à conserver au patio sa fonction tout en recherchant une optimisation des circulations. Une nouvelle interpétation proposait trois types de cellules :

-1 cellule à accès latéral et distribution par hall-couloir central,

-1 cellule à accès arrière ou sur cour-patio en "T",

-1 cellule à patio-cour, accès latéral et distribution à l'arrière de cette cour sur deux principaux volumes bâtis entourant deux côtés de cette cour.

A partir de ces principes, les maîtres d'oeuvre proposaient 3 plans de cellule autour des 3 configurations de cour-patio, distribuant les espaces de réception, séjour et cuisine, hall-accès étage en rez-de-jardin et les espaces de salle-de-bains/toilettes et chambres à l'étage. Les planchers intermédiaires étaient à poutres et voûtains et les couvertures d'étages en coupoles et voûtes en briques de terre.

Un souci de normalisation dimensionnelle devait permettre d'utiliser le même langage constructif sur les différentes variantes de cellules. Ainsi, était notamment adopté le principe d'une coupole sur plan carré de 3,60 m de côté qui était un élément de base de la conception architecturale des espaces et des volumes ainsi que des structures. Les architectes visaient une rationalisation des options constructives et une approche modulable associée à la diversité dans le choix d'éléments communs à tous les types de cellules proposés. Ces éléments étaient les suivants :

-Fondations et soubassements : à semelles et longrines BA ; soubassements en briques cuites artisanales hourdées au mortier de chaux.

-Murs : briques cuites et terre coulée, mélangée à de la chaux et briques cuites et terre pisée. Ces deux solutions apparaissaient trop coûteuses et étaient abandonnées au profit d'un système mixte avec soubassement en briques cuites 5 x 11 x 22 ou 7 x 11 x 22, éléments lourds type blocs 20 x 20 x 40 en partie basse des logements et éléments légers type blocs 10 x 20 x 40 pour les parties hautes, les coupoles et voûtes étant réalisées en briques cuites ou crues de 5 x 11 x 22 ou 7 x 11 x 22. Plusieurs solutions d'appareillage étaient étudiées selon les différents types de blocs et de briques que l'on comptait utiliser.

-Percements : divers types étaient étudiés, en encorbellement pour les baies étroites, en arcs de décharge à faible cintre pour les baies moyennes, en arcs plein cintre pour les passages les plus larges. Des solutions de coffrages des arcs, en bois ou par remplissage du vide, étaient proposées.

-Coupoles et voûtes : les modes de conception et techniques de mise en oeuvre faisaient référence aux procédés de Basse Nubie (Egypte) qui avaient été réhabilités par l'architecte égyptien Hassan Fathy et réactualisés par les projets de l'ADAUA au Burkina Faso. Plusieurs configurations des coupoles étaient proposées voulant marquer la richesse du vocabulaire formel associé à ces solutions constructives.

-Planchers et terrasses : poutrelles béton et voûtains coffrés en briques cuites artisanales, terrasses avec lame d'air en briques plates plâtrières et chape de chaux + taddelakt, voûtes et coupoles recouvertes d'une chape de chaux + taddelakt.

A ces propositions de base de parti architectural et de dispositions constructives, devait être apporté un premier avis en novembre 1983 :

-Acceptation du principe de planchers à poutrelles et voûtains de briques tout en visant un allègement des charges en affirmant le ratio section des poutrelles/ épaisseur terre ou briques + terre + sol.

-Précisions à apporter sur le traçage des voûtes et coupoles ainsi que sur les solutions de mise en oeuvre (type de gabarit de mise en oeuvre, système de réglage de la forme). Il était également souhaité de limiter le registre des formes adoptées et des pénétrations de systèmes d'arcs-voûtes et coupoles afin d'assurer la faisabilité technique et économique de la construction.

-Préciser les solutions de chaînages des voûtes et coupoles.



-Eviter la complexité des solutions constructives des coupoles en réduisant le registre des solutions de trompes.

-Viser également une limitation du registre des formes d'arcs.

-Préciser le plus tôt possible le type de blocs de terre qui serait employé, soit le 20 x 20 x 40, soit le 29,5 x 14 x 9 et préciser les solutions d'appareillage en conséquence. Choisir explicitement entre la solution terre stabilisée ou terre non stabilisée.

-Eviter le couple terre stabilisée + enduit et développer avantageusement les solutions de protection architecturale : "L'architecture comme stabilisant".

-Envisager une grande simplicité d'exécution et une rentabilisation des opérations de main d'oeuvre pour s'assurer d'une faisabilité technique et économique.

-Préciser les solutions de drainage des bâtiments sur le plan masse et éviter la complexité de certaines situations de mitoyenneté.

-Préciser les détails constructifs de chainages, de tableaux de fenêtres et menuiseries, descentes des eaux pluviales, appareillages complexes solutions économiques d'étanchéité.

B - Les choix définitifs sur APS

Les options principales du parti architectural et des dispositions constructives du projet Koutoubia étaient développées mais l'effort de simplification n'était pas suffisamment poussé pour permettre un avancement du projet en phase APD et exécution. Le bilan sur phase APS d'avril 1984 amenait les remarques suivantes :

-Veiller aux solutions d'appareillage des murs en blocs de terre de 0,45 m d'épaisseur et particulièrement aux cas de "coups de sabre" dans les situations d'angles à 45° et à 135°.

-Eviter les saillies de rangs de briques cuites en modénature extérieure (mettre au nu de l'enduit) ainsi qu'en tableaux des baies.

-Calepinage des arcs et leur corrélation avec le calepinage des murs.

-Eviter le hourdage au plâtre des voûtains de planchers et des arcs et voûtes en bloc de terre. Les mises en oeuvre "à la catalane" et sur coffrages permettent d'utiliser un mortier de terre stabilisée.

-Prévoir obligatoirement sur le chantier une formation de la main d'oeuvre pour l'exécution des voûtes et des coupoles.

-Affiner le calcul des structures et notamment des solutions de reprise des poussées des voûtes et coupoles par des chaînages.

-Préciser les solutions et les compositions d'enduits (plâtre, chaux aérienne, chaux + terre).

-Soigner les écoulements des eaux pluviales et les étanchéités, notamment pour les revêtements des pièces humides.

-Préciser les solutions de tableaux de baies et d'ancrage des menuiseries.

-Eviter au maximum les complexités d'appareillages (croisements de murs en "T" ou en "X", angles à 45° et 135°).

-Détailler les structures d'escaliers.

## Bilan sur phase APD

Le projet Koutoubia ne devait pas être remis fondamentalement en question par les architectes car le programme de cette tranche de logements était clairement associé, dès le départ de l'opération, à une opération de standing. Aussi, autant la générosité du plan que la richesse du vocabulaire architectural de ce projet, convenaient à la population-cible, au site d'implantation en milieu urbain dans un lieu très valorisant et à la démonstration de grande qualité architecturale qui en était attendue, ce projet devant être, en quelque sorte, le projet-phare de l'opération, destiné à surmonter les barrières psychologiques opposées au matériau terre. L'attitude du maître d'ouvrage est devenue contradictoire, voire ambiguë vis-à-vis de ces premiers objectifs et finalement, le projet Koutoubia devait être remis en question, à la fin de l'année 1984 pour des raisons de non faisabilité commerciale, le maître d'ouvrage craignant de ne pas trouver une clientèle pour ce projet. La fin de l'année 1984 supprimait ce projet et proposait en équivalence de gonfler l'opération Hay al Massira de 20 logements supplémentaires.

Néanmoins, en janvier-février 1985, à l'occasion d'une mission d'assistance technique et architecturale, il était convenu, avec le maître d'ouvrage, de continuer ce projet Koutoubia sous la garantie d'une révision assez fondamentale des choix architecturaux qui accusaient une complexité du projet et une multiplication des systèmes constructifs. Finalement, 2 types de logements, extrêmement révisés par M. Sigelmassi, assisté de M. Joseph Estève (CRATerre) devaient



être proposés et avoir l'accord du maître de l'ouvrage. Les épaisseurs de murs étaient ramenées à 29,5 en utilisant le seul bloc de 29,5 x 14 x 9 et les dispositions constructives privilégiaient les coupoles sur pendentifs pour la couverture des pièces et les voûtes pour la couverture des espaces de transition, des dégagements et escaliers.

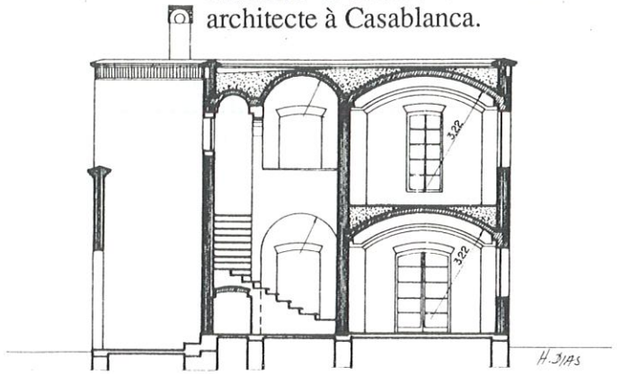
Tout un ensemble de solutions spatiales et de volumes et de dispositions constructives était précisé, simplifiant considérablement les plans tout en conservant une grande richesse de vocabulaire architectural. Les plans de cellules proposées étaient calepinés et l'on pouvait engager la phase de dossier d'exécution.

## Bilan phase prototype

Aucun prototype de l'opération Koutoubia n'a été finalement réalisé, le maître d'ouvrage restant sur un avis de non faisabilité commerciale de ce programme.

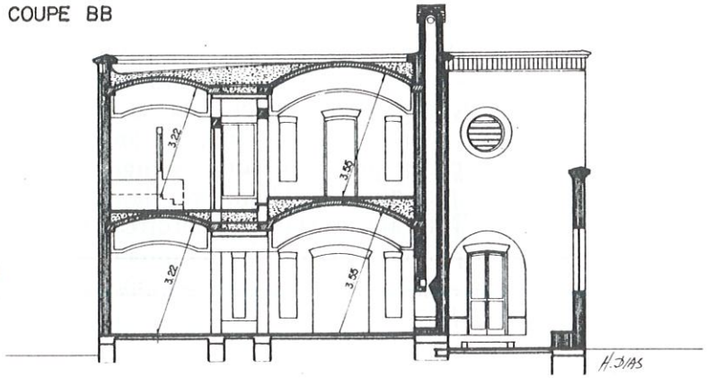
Le bilan-évaluation de la phase prototypes d'octobre 1986 manifestait le souhait de réalisation d'un des prototypes de l'opération Koutoubia afin de pouvoir tester, en secteur formel (sur la base d'une filière blocs de terre type Altech Pact 500 désormais rodée par l'opération Hay al Massira et sur la base d'une formation des exécutants) la faisabilité technique des solutions architecturales et constructives en arcs, voûtes et coupoles. La dynamique du projet qui était désormais engagée allait davantage dans le sens d'une clôture définitive de la phase expérimentale de l'opération "Marrakech, Habitat en Terre" et devait privilégier le passage à une phase de réalisation commerciale des opérations Ait Ourir et Hay al Massira sur la base d'un appel d'offres sur forfait, largement ouvert, confirmant l'abandon du projet Koutoubia.

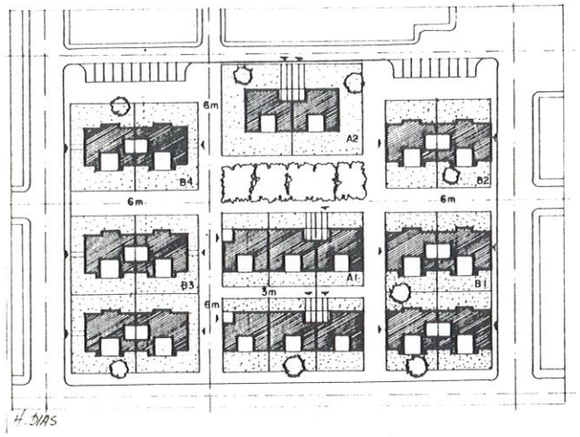
PROJET AMERCHICH KOUTOUBIA.
Projet REXCOOP "Marrakech, Habitat en terre". Maîtrise d'ouvrage : ERAC-Tensift. Maîtrise d'oeuvre : A. SIGELMASSI, architecte à Casablanca.




COUPE AA

COUPE BB



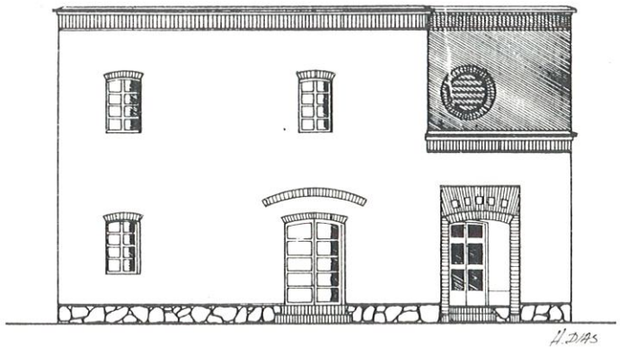



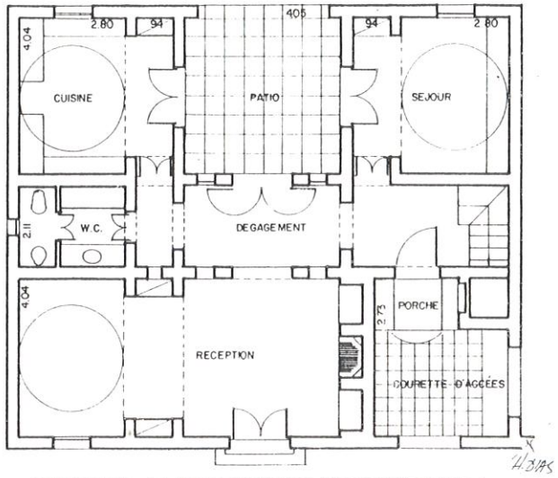

SURFACE DES LOTS

| TYPE | $m^2$ |
|---|---|
| A1 | 272 $m^2$ |
| A2 | 479 $m^2$ |

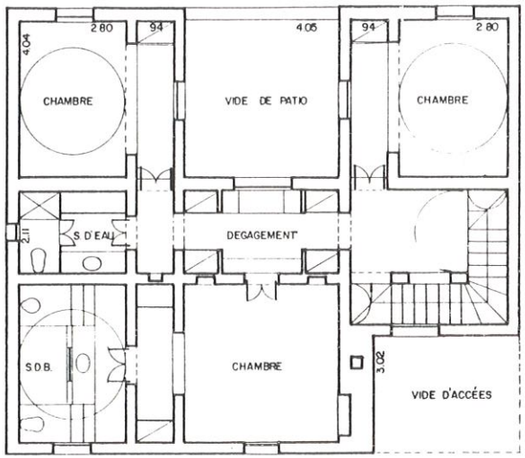
| TYPE | $m^2$ |
|---|---|
| B1 | 324 $m^2$ |
| B2 | 354 $m^2$ |
| B3 | 396 $m^2$ |
| B4 | 432 $m^2$ |






PROJET AMERCHICH KOUTOUBIA
A. SIGELMASSI, architecte



# BILAN DE L'AIDE A LA PRODUCTION DES MATERIAUX ET A L'EXECUTION DES CHANTIERS

## 1 - LE MATERIAU: BILAN DES ANALYSES ET ESSAIS

### Liminaire

Dans le cadre du projet-pilote de construction en terre réalisé à Marrakech par l'ERAC-Tensift, le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (L.P.E.E.), par son laboratoire de Marrakech, a participé aux différentes étapes de reconnaissance et d'identification de carrières en vue d'organiser l'exploitation de gisements locaux de terre ainsi qu'aux étapes d'analyses et d'essais sur les matériaux (terre à pisé et blocs de terre comprimée) en vue d'assurer le contrôle et le suivi de la production des matériaux de construction en terre sur les deux sites prototypes de Ait Ourir et Hay Al Massira. Le bilan qui est présenté ici rend compte de cette collaboration permanente du L.P.E.E. et résulte d'une synthèse de différentes notes qui ont été établies au fur et à mesure du déroulement de l'opération par M. A. Boualil, alors chef du laboratoire régional de Marrakech. Les notes qui ont été plus directement utilisées pour réaliser cette synthèse sont les suivantes:

-ERAC-Tensift, Opération Ait Ourir Terre, dossier n° 86/250/2/229/M132, du 17 février 1986, 8 p. + annexes graphiques,

-ERAC-Tensift, Opération Hay Al Massira Terre, Blocs de Terre Comprimés Pleins Stabilisés, dossier n° 85/250/2/192 M91, du 6 janvier 1986, 13 p. + annexes graphiques,

-ERAC-Tensift, Note Récapitulative Massira Terre du 10 octobre 1986, 7 p.

Nous tenons ici à remercier tout particulièrement M. A. Boualil, chef du Laboratoire Régional d'Essais et d'Etudes de Marrakech par l'attention permanente et le soutien décisif qu'il a su apporter à cette opération.

### 1.1. BILAN MATERIAU DE L'OPERATION AIT OURIR TERRE

#### Les différents sites identifiés.

A) LE SITE GRANE SIDI M'HAMED OTHMANE

A1 - Reconnaissance

La reconnaissance des sols de ce site a été assurée par l'exécution de 5 puits manuels de 2 mètres de profondeur chacun. Les coupes de ces puits, telles qu'elles ont été établies en fonction de la nature des terrains rencontrés sont les suivantes :

PUIT N° 1

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,10 | Terre végétale |
| 0,10 - 0,80 | Argile limoneuse compacte |
| 0,80 - 1,30 | Argile caillouteuse compacte |
| 1,30 - 2,00 | Limon calcaire graveleux |

PUIT N° 2

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 2,00 | Argile tirseuse compacte |

PUIT N° 3

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,10 | Terre végétale |
| 0,10 - 1,00 | Argile tirseuse compacte |
| 1,00 - 2,00 | Grave argileuse grossière, diamètre maxi 200 |

PUIT N° 4

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,70 | Argile tirseuse compacte |
| 0,70 - 2,00 | Grave argileuse grossière, diamètre maxi 400 |

PUIT N° 5

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,05 | Terre végétale |
| 0,05 - 0,90 | Argile tirseuse compacte |
| 0,90 - 2,00 | Grave argileuse grossière, diamètre maxi 600 |



A2 - Identification

Cinq échantillons de l'argile rencontrée dans les puits ont été prélevés. Ils ont été soumis, en laboratoire, aux essais suivants:

-Analyse granulométrique.

-Détermination des Limites d'Atterberg.

-Proctor Standard sur le mélange des 5 échantillons.

En ce qui concerne les Limites d'Atterberg, la classification U.S.C.S. et le proctor, les résultats sont consignés dans le tableau n°1.

Il ressort des résultats des essais d'identification effectués sur les échantillons prélevés du site GRANE SIDI M'HAMED OTHMANE, les conclusions suivantes:

-à l'exception de l'échantillon prélevé dans le puit n° 1, à 1,10 m., les courbes granulométriques des échantillons analysés, comparées au fuseau limite du pisé extrait du document "Recommandations pour la Conception des Bâtiments du Village Terre" (voir bibliographie) ne s'inscrivent pas dans le fuseau recommandé et se traduisent par un excès des éléments inférieurs à 0,4 mm,

-les résultats donnés par les essais de plasticité et de compactibilité montrent que 4 échantillons sur 6 donnent des plasticités qui ne répondent pas aux limites préférentielles préconisées par le cahier des charges,

-les caractéristiques Proctor Standard déterminées sur le mélange des 6 échantillons prélevés sont acceptables vis à vis de la limite tolérée par le cahier des charges.

B) LE SITE KARKOUR AIT TAMELLI

B1 - Reconnaissance

Trois puits manuels de 2,00 m de profondeur chacun ont été creusés sur ce site. La nature des terrains rencontrés se présente comme suit:

RESULTATS CARRIERES SITES AIT OURIR

| N° PUITS | PROFONDEUR | LIMITES D'ATTERBERG L.L.% | ET | I.P. % | CLASSIF. U.S.C.S. | CARACT. PROCTOR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 0,70 | 41 | et | 18 | A.p. | densitémax. |
| P1 | 1,10 | 39 | et | 19 | A.p. | 1,69T/m3 |
| P2 | 1,40 | 57 | et | 31 | A.t. | |
| P3 | 0,80 | 50 | et | 24 | A.p. | T.E.O. |
| P4 | 0,40 | 47 | et | 21 | A.p. | 14,40% |
| P5 | 0,70 | 42 | et | 17 | A.p. | |

| N° PUITS | PROFONDEUR | LIMITES D'ATTERBERG L.L.% | ET | I.P. % | CLASSIF. U.S.C.S. | CARACT. PROCTOR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 1,20 | 52 | et | 29 | A.t. | densitémax. |
| P2 | 0,50 | 35 | et | 16 | A.p. | 1,76T/m3 |
| P3 | 0,30 | 33 | et | 13 | A.p. | T.E.O. |
| P4 | 1,00 | 34 | et | 14 | G.A. | 15% |
| | | | | | | |

| N° PUITS | PROFONDEUR | LIMITES D'ATTERBERG L.L.% | ET | I.P. % | CLASSIF. U.S.C.S. | CARACT. PROCTOR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P1 | 0,30 | 25 | et | 7 | A.p. | densitémax. |
| P2 | 1,60 | 45 | et | 25 | A.p. | 1,81T/m3 |
| P3 | 1,30 | 43 | et | 21 | A.p. | T.E.O. |
| P4 | 1,50 | 47 | et | 24 | A.p. | 12,20% |



PUIT N° 1

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,05 | Terre végétale |
| 0,05 - 2,00 | Argile limoneuse compacte avec nodules calcaires |

PUIT N° 2

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,80 | Argile limoneuse |
| 0,80 - 2,00 | Argile limoneuse caillouteuse |

PUIT N° 3

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,50 | Terre végétale |
| 0,50 - 1,10 | Limon calcaire argileux |
| 1,10 - 2,00 | Grave limoneuse |

B2 - Identification

Quatre échantillons ont été prélevés sur les matériaux observés dans les puits et ont fait l'objet des essais suivants :

-Analyse granulométrique.

-Détermination des Limites d'Atterberg.

-Proctor Standard sur le mélange des 5 échantillons.

En ce qui concerne les Limites d'Atterberg, la classification U.S.C.S. et le proctor, les résultats sont consignés dans le tableau n°2.

Il ressort des résultats des essais d'identification effectués sur les échantillons prélevés du site KARKOUR AIT TAMELLI, les conclusions suivantes:
- les courbes granulométriques des échantillons analysés, comparées au fuseau limite du pisé extrait du document "Recommandations pour la Conception des Bâtiments du Village Terre" montrent que 3 échantillons sur 4 présentent un léger excès d'éléments 0,08 / 0,16 mm,
-les résultats donnés par les essais de plasticité et de compactibilité sont convenables vis à vis des limites préférentielles recommandées par le cahier des charges.

C) LE SITE DE TALBACHAT

C1 - Reconnaissance

Trois puits manuels de 2,00 m de profondeur chacun ont été creusés sur ce site. La nature des terrains rencontrés se présente comme suit:

PUIT N° 1

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,30 | Terre végétale |
| 0,30 - 2,00 | Argile limoneuse |

PUIT N° 2

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,20 | Terre végétale |
| 0,20 - 2,00 | Argile limoneuse |

PUIT N° 3

| épaisseur des horizons | Description des horizons |
|---|---|
| 0,00 - 0,10 | Terre végétale |
| 0,10 - 2,00 | Argile limoneuse |



B2 - Identification

Quatre échantillons ont été prélevés sur les matériaux observés dans les puits et ont fait l'objet des essais suivants :

-Analyse granulométrique.

-Détermination des Limites d'Atterberg.

-Proctor standard sur le mélange des 5 échantillons.

En ce qui concerne les Limites d'Atterberg, la classification U.S.C.S. et le proctor, les résultats sont consignés dans le tableau n°3.

Il ressort des résultats des essais d'identification effectués sur les échantillons prélevés du site de TALBACHAT, les conclusions suivantes:

-à l'exception de l'échantillon prélevé dans le puit n° 1, à 0,30 m. de profondeur, les courbes granulométriques des échantillons analysés, comparées au fuseau limite du pisé extrait du document "Recommandations pour la Conception des Bâtiments du Village Terre" ne s'inscrivent pas dans le fuseau recommandé et se traduisent par un excès des éléments fins inférieurs à 0,4 mm,

-les caractéristiques de plasticité et de compactibilité sont proches de celles recommandées par le cahier des charges.

## Conclusions

L'examen des résultats des essais d'identification effectués sur les échantillons prélevés des sites Grane Sidi M'Hamed Othmane, Karkour Ait Tamelli et Talbachat, tous trois situés à Ait Ourir, permettent de dégager les conclusions suivantes:

-si l'on s'en tient aux spécifications du cahier des charges établi par le CRATerre, les échantillons de sols prélevés à partir des trois sites présentent, dans l'ensemble, un excès d'éléments fins pour être utilisés dans la construction en pisé,

-les caractéristiques de plasticité des trois sites sont convenables vis à vis des tolérances préconisées par le cahier des charges,

-les caractéristiques Proctor Standard des sols des trois sites s'intègrent dans la plage préférentielle recommandée par le cahier des charges,

-les résultats obtenus sur les échantillons prélevés à partir du site Karkour Ait Tamelli s'approchent mieux des tolérances admises par le cahier des charges.

Les caractéristiques des sols des trois sites peuvent être améliorées en vue de leur utilisation dans la construction en pisé, en les mélangeant avec un matériau plus graveleux (tout-venant par exemple).

## 1.2.BILAN MATERIAU OPERATION HAY AL MASSIRA

### Phase préléminaire de reconnaissance des sites: analyses et essais d'identification

La terre du site de Hay Al Massira est constituée par des sols sédimentaires du quaternaire récent. Ces terres sont des limons calcaires brun-rouges et plus ou moins graveleux, recouverts de terre végétale. Cette couche limoneuse a une puissance d'environ cinq mètres et surmonte soit des encroûtements calcaires, soit des alluvions sableuses. Ces dernières étant en relation avec le bassin de l'Oued N'fis.

Les essais réalisés sur quelques prélèvements ont abouti aux résultats moyens suivants:

GRANULOMETRIE

Deux échantillons de terre ont été analysés, respectivement de classses granulaires 0/40 et 0/25 mm. Ils présentent un pourcentage d'éléments inférieurs à 5 mm de 79 % pour le 0/40 et de 86 % pour le 0,25. Leurs passants respectifs à 80 microns sont de 41 et 45 % (voir sédimentométrie).
Ces terres s'inscrivent tout à fait bien dans les limites du fuseau granulométrique idéal bloc de terre comprimée extrait du document "Recommandations pour la Conception des Bâtiments du Village Terre". Les résultats moyens obtenus sur la fraction < 0,005 à > 20 mm sont donnés par le tableau suivant:

| Diam.Passant | VALEURS MOYENNES |
|---|---|
| < 0,005 mm : | 24 % |
| < 0,05 mm : | 37 % |
| < 0,08 mm : | 47 % |
| > 2 mm : | 21 % |
| > 10 mm : | 10 % |
| > 20 mm : | 4 % |



SEDIMENTOMETRIE

L'analyse sédimentométrique réalisée sur les éléments inférieurs à 0,080 mm a donné les résultats moyens suivants:

| Diam.Passant | ECHANTILLON N°1 | ECHANTILLON N° 2 |
|---|---|---|
| % < 0,080 mm : | 41 | 45 |
| % < 0,020 mm : | 33 | 34 |
| % < 0,004 mm : | 21 | 23 |
| % < 0,0016 mm : | 16 | 16 |

COMPACTIBILITE

Deux essais Proctor Standard ont été réalisés sur des échantillons prélevés à Hay Al Massira et écrétés à 20 mm ont donné les résultats suivants qui sont tout à fait satisfaisant :

| ESSAI N° 1 | ESSAI N° 2 |
|---|---|
| -Densité maximale : 1,93 T / m3 | -Densité maximale : 1,83 T/m3 |
| -Teneur en eau optimale : 11,3 % | -Teneur en eau optimale:13,5% |

LIMITES D'ATTERBERG

Les deux échantillons qui ont été soumis aux essais de granulométrie et de compactibilité ont fait l'objet d'une détermination des limites d'Atterberg. Les résultats s'inscrivent trés bien sur la plage préférentielle du cahier des charges du CRATerre et sont les suivants :

| ECHANTILLON N° 1 | | ECHANTILLON N° 2 | |
|---|---|---|---|
| L.Liquidité | Indice Plasticité | L.Liquidité | Indice Plasticité |
| 30 % | 14 % | 26 % | 11 % |

ANALYSE CHIMIQUE

Les blocs devant être fabriqués seront stabilisés au ciment CPAZ 325. Pour éviter l'utilisation d'une terre dont les composants risquent de neutraliser l'action du ciment et par conséquent abaisser la résistance des blocs stabilisés, un échantillon de terre (limon calcaire) prélevé a été soumis à une analyse chimique. Sa composition chimique est la suivante:

-Résidu siliceux : 60,7 %
-Carbonate de chaux : 28,5 %
-Carbonate de Magnésie : 4,1 %
-Autres résidus : 6,7 % (ces résidus ne comportent pas de sulfates)

CONCLUSIONS DES ANALYSES ET ESSAIS PRELEMINAIRES

La conclusion de cette identification préléminaire est la suivante:

-les limons calcaires du site de Hay Al Massira ne posent pas de problèmes quant à leur utilisation sous forme de blocs de terre comprimée ou de pisé.

## Phase expérimentale de production de blocs comprimés

Rappel du cahier des charges

Cette deuxième phase a débuté lorsque la filière blocs de terre comprimée à été retenue. Il a été décidé de fabriquer des blocs pleins, stabilisés, aux dimensions de 29,5 x 14 x 9 cm en utilisant une presse semi-mécanique motorisée de type PACT 500 qui développe une force de compression statique de 50 tonnes (données du fabricant).

L'étude réalisée à ce stade devait permettre d'identifier plus précisément le gisement retenu et de vérifier si ces caractéristiques ne s'éloignaient pas trop de celles observées avec l'étude préléminaire et également d'évaluer l'apport d'une stabilisation au ciment dans la résistance sèche et humide des blocs. Cette étude devait permettre de déterminer le dosage minimal à adopter pour répondre aux prescriptions du cahier des charges. Ces prescriptions étaient notamment:
-une résistance sèche à 28 jours de 3 Mpa et un rapport de résistance humide moyenne / résistance sèche moyenne, après 4 jours d'immersion, supérieur ou égal à 0,5.

Par contre on exposera ici les résultats obtenus sur des blocs échantillons fabriqués avec la terre de ce gisement et au moyen d'une presse PACT 500.



L'apport de la stabilisation

Afin d'apprécier l'influence de la stabilisation sur les caractéristiques mécaniques des blocs, nous avons testé 4 séries de 20 blocs chacunes dosées respectivement à 0, 4, 6 et 8 % de ciment CPAZ 325.
La vérification de la qualité des blocs fabriqués a été assurée par les essais suivants:
-résistance en compression sèche à 7, 14 et 28 jours,
-résistance en compression humide à 28 jours (24 jours + 4 jours d'immersion),
-vérification des dimensions et de l'aspect,
-masse volumique à 7,14 et 28 jours.
On ne donnera ici, en synthèse, que les résultats à 28 jours.

Les résultats obtenus sont synthétisés sur les deux graphes suivants:

-Relation des résistances sèches en fonction de l'âge pour chaque dosage : sur ce premier graphe, les résistances moyennes à 14 jours des blocs stabilisés à 4 et 6 % ne tiennent pas compte de quelques valeurs extrêmes qui sont vraissemblablement dûes à une irrégularité de fabrication (le malaxage ayant été réalisé manuellement à l'aide de pelles et de pioches).

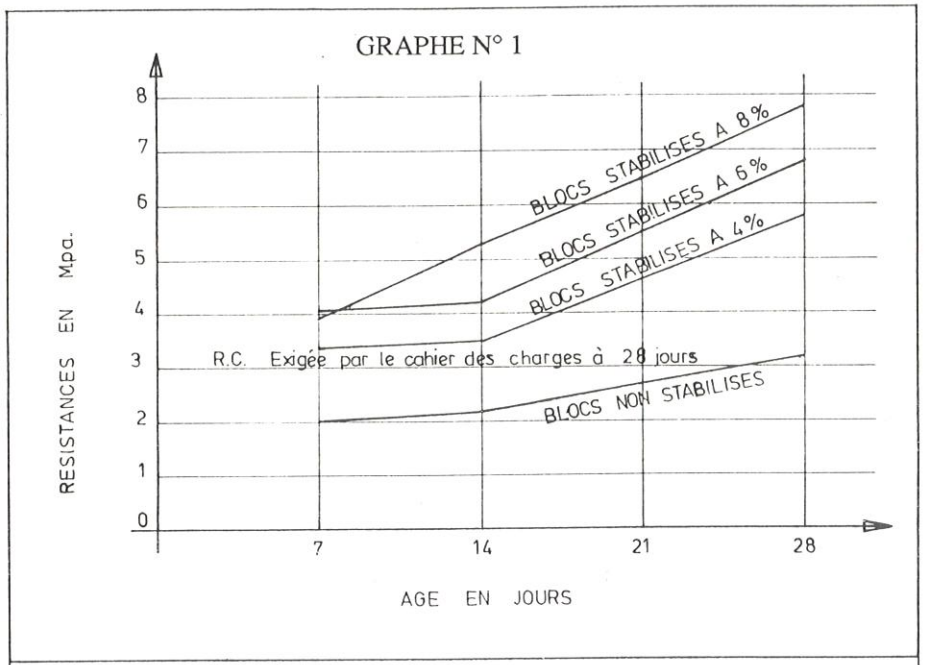
(Cf. graphe n°1).

Ce premier graphe permet de dégager les remarques suivantes:
-le gain de résistance entre 7 et 14 jours est pratiquement nul pour les blocs non stabilisés et les blocs stabilisés à 4 et 6 %. Il est égal à 1,3 Mpa pour les blocs stabilisés à 8 %,
-les résistances moyennes en compression sèche, à 28 jours sont supérieures aux valeurs recommandées par le cahier des charges établi par CRATerre, même pour les blocs non stabilisés,
-la résistance en compression sèche de 3 Mpa exigée à 28 jours est atteinte au bout de 7 jours pour les blocs stabilisés à 4, 6 et 8 %.

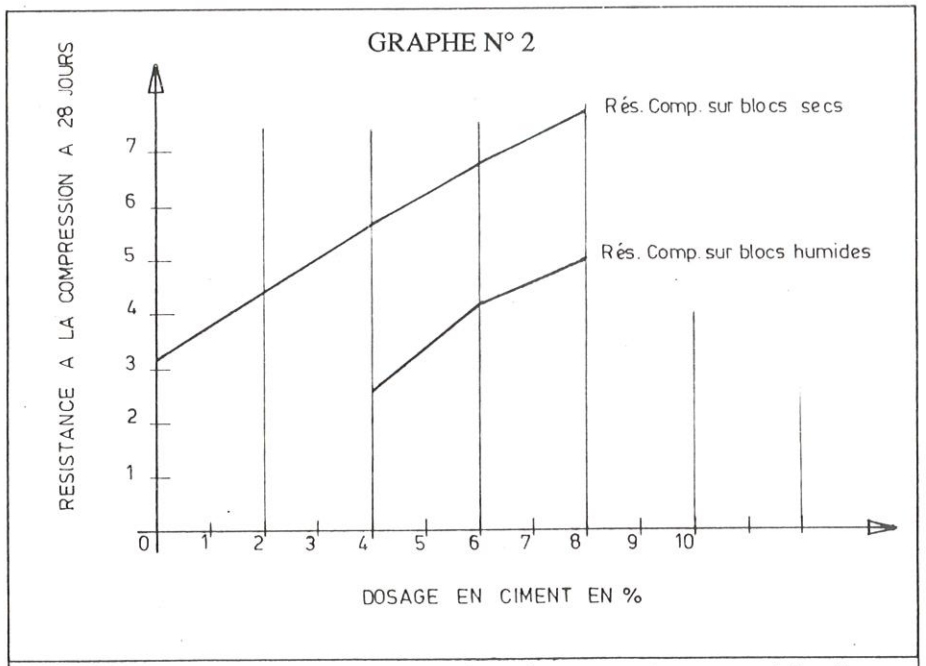
-Relation des résistances à la compression à 28 jours sur blocs secs et humides en fonction du dosage en ciment : ce deuxième graphe ne peut rendre compte de la résistance humide des blocs non stabilisés car ceux-ci se sont délités au contact de l'eau.

(Cf. graphe n°2).

Ce deuxième graphe permet de tirer les remarques suivantes:
-le dosage en ciment a permis d'améliorer considérablement les caractéristiques des blocs testés,
-les résistances moyennes en compression humide, à 28 jours, sont conformes aux spécifications du cahier des charges établi par CRATerre pour les blocs stabilisés à 4, 6 et 8 % de ciment,




Relation des Résistances en Compression sèche en fonction de l'age pour chaque dosage.




Relation des Résistances en Compression à 28 jours sur blocs secs et humides en fonction du dosage en ciment.



-le ratio Rc 28 jours humide moyen / Rc 28 jours sec moyen est égal à 0,63 pour les blocs stabilisés à 6 % et à 0,65 pour les blocs stabilisés à 8 %. Pour les blocs stabilisés à 4 % ce ratio est de 0,46.

Les résultats précis et détaillés obtenus sont données sur les tableaux suivants, à 28 jours pour les différents taux de stabilisation (0,4,6 et 8 %).

(Voir tableaux 4, 5, 6 et 7 des résultats détaillés sur blocs)

## Conclusion

L'examen des résultats obtenus par les essais réalisés dans le cadre de la phase expérimentale de l'opération Hay Al Massira permet de dégager les conclusions suivantes:

-la terre utilisée présente des caractéristiques convenables pour la fabrication des blocs pleins comprimés,

-les essais de laboratoire effectués ont permis de mettre en évidence l'influence positive de la stabilisation sur les performances mécaniques des blocs ; les blocs non stabilisés, même avec une résistance en compression sèche supérieure à 3 Mpa à 28 jours, perdent toute consistance et se délitent complètement au contact de l'eau, au bout de 28 jours de cure.

-la résistance moyenne en compression sèche recommandée est atteinte au bout de 7 jours de cure pour les blocs stabilisés à 4, 6 et 8 % de ciment,

-en se référant aux spécifications du cahier des charges établi par CRATerre (voir chapitre "Aide à la production des matériaux"), on remarquera que la condition

Rc 28 jours humide moyen / Rc 28 jours sec moyen > 0,5

est finalement trés contraignante car le dosage en ciment à 4 % est à la limite de l'acceptable. La valeur de ce ratio, pour des conditions locales de climat de type semi-désertique, nous semble pouvoir être en effet abaissée à 0,4 pour les blocs utilisés en maçonnerie courante de murs, le ratio de 0,5 pouvant être réservé à des ouvrages plus exposés tel que les premières assises des murs. Une telle spécification, sous garantie d'un suivi de la qualité de production par le laboratoire permettrait de faire des économies de ciment qui peuvent être appréciables sur des programmes immobiliers importants.

Résultats des essais sur blocs à 28 jours : 0%, 4%, 6% et 8%

| **déterminations 0 % de ciment** | L en cm | l en cm | h en cm | Masse vol. T / m 3 | Rc sèche en bars | Rc humide en bars | Coefficient d'absorption |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nb. de valeurs | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Moy. arithmétique | 29,5 | 14 | 9,5 | 1,92 | 31,7 | les blocs se délitent au contact de l'eau | |
| Ecarttype | 0 | 0 | 0 | 0,03 | 5,9 | | |
| Coef. variation | 0 | 0 | 0 | 1,5% | 18,5% | | |
| Valeurmaxi | 29,5 | 14 | 9,5 | 1,95 | 41,1 | | |
| Valeurmini | 29,5 | 14 | 9,5 | 1,87 | 24,2 | | |

4

| **déterminations 4 % de ciment** | L en cm | l en cm | h en cm | Masse vol. T / m 3 | Rc sèche en bars | Rc humide en bars | Coefficient d'absorption |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nb. de valeurs | 36 | 36 | 24 | 24 | 12 | 12 | 12 |
| Moy. arithmétique | 29,5 | 14 | 9,5 | 2 | 58,1 | 26,7 | 11,5 |
| Ecarttype | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 4,7 | 4,26 | 2,5 |
| Coef. variation | 0 | 0 | 0 | 2% | 8% | 16% | 21% |
| Valeurmaxi | 29,5 | 14 | 9,5 | 2,08 | 65,3 | 36,4 | 15,3 |
| Valeurmini | 29,5 | 14 | 9,5 | 1,92 | 50,8 | 19,9 | 7,5 |

5

| **déterminations 6 % de ciment** | L en cm | l en cm | h en cm | Masse vol. T / m 3 | Rc sèche en bars | Rc humide en bars | Coefficient d'absorption |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nb. de valeurs | 36 | 36 | 24 | 24 | 12 | 12 | 12 |
| Moy. arithmétique | 29,5 | 14 | 9,55 | 2,01 | 67,6 | 42,5 | 10,3 |
| Ecarttype | 0,04 | 0 | 0,16 | 0,06% | 11 | 5,8 | 1,6 |
| Coef. variation | 0,15 | 0 | 2% | 3% | 16% | 14% | 16% |
| Valeurmaxi | 29,5 | 14 | 10,2 | 2,15 | 87,2 | 52 | 12,9 |
| Valeurmini | 29,4 | 14 | 9,4 | 1,92 | 53,3 | 32,9 | 7,5 |

6

| **déterminations 8 % de ciment** | L en cm | l en cm | h en cm | Masse vol. T / m 3 | Rc sèche en bars | Rc humide en bars | Coefficient d'absorption |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nb. de valeurs | 36 | 36 | 24 | 24 | 12 | 12 | 12 |
| Moy. arithmétique | 29,5 | 14 | 9,6 | 2,04 | 77,3 | 50,2 | 9,5 |
| Ecarttype | 0 | 0 | 0,05 | 0,05 | 8,4 | 6,2 | 2,3 |
| Coef. variation | 0 | 0 | 0,5 | 2 | 11 | 12 | 24% |
| Valeurmaxi | 29,5 | 14 | 9,6 | 2,15 | 94,4 | 60,3 | 14,9 |
| Valeurmini | 29,5 | 14 | 9,5 | 1,98 | 65,7 | 40,3 | 7,2 |

7



# BILAN DE L'AIDE A LA PRODUCTION DES MATERIAUX ET A L'EXECUTION DES CHANTIERS

## 2. L'ORGANISATION ET LE SUIVI DES CHANTIERS PROTOTYPES

### Liminaire

La décision du maître d'ouvrage de réaliser dans un premier temps des chantiers prototypes en adoptant une procédure de régie contrôlée, offrait l'occasion de mettre en place un suivi des temps d'exécution, des rendements et une comptabilité des quantités et coûts unitaires. Ce suivi était notamment destiné à établir des références technico-économiques utiles aux opérateurs de futurs projets, particulièrement pour une évaluation plus fine de leurs offres. Un protocole de suivi était défini dans le cadre d'une collaboration entre le CRATerre et le GAITerre, celui-ci se voyant confier la mission de suivi dont on rend compte ici de façon synthétique.

### Protocole de suivi des prototypes

Un calendrier de suivi prévoyait un échelonnement du contrôle environ tous les quinze jours et, si possible, au mieux, toutes les semaines. Cet échelonnement apparaissait suffisant pour rendre compte d'une évolution des résultats obtenus depuis le début du chantier et jusqu'à son achèvement. Le protocole de suivi était basé sur une fiche type qui permettait de prêter attention aux principaux postes suivants :

1. Main d'oeuvre : les équipes, compte-tenu de la relative petite taille des entreprises adjudicataires des marchés prototypes, restaient structurées autour du "maâlem" et de ses manoeuvres. Chaque équipe, soit chaque maâlem et ses manoeuvres, était caractérisée par la tâche spécifique qui lui était assignée et le suivi devait, pour chacune des tâches caractérisée, rendre compte des temps passés et des coûts unitaires.

2. Matériaux : tous les matériaux utilisés étaient inventoriés et comptabilisés, en quantités et en coûts unitaires.

3. Matériels et outils : tous les matériels et outils utilisés étaient inventoriés et comptabilisés, en quantités et en coûts unitaires.

4. Energie : toutes les énergies utilisées étaient inventoriées (eau, électricité, gaz, essence ordinaire et super, gas-oil, bois de chauffe, autres), et comptabilisées en quantités et coûts unitaires.

Une rubrique "observations" donnait la possibilité au contrôleur des contrôleur des travaux de donner une appréciation sur la qualité du travail effectué et de jauger l'influence des facteurs techniques et humains sur cette qualité.

## Le suivi et les résultats obtenus

D'un point de vue opérationnel, le suivi devait finalement être partagé entre plusieurs opérateurs. D'une part, avec un contrôleur des travaux de l'ERAC-Tensift qui comptabilisait les quantités de matériaux et les coûts unitaires, une analyse étant faite par le Bureau d'Etudes Pomoconsult qui avait été mandaté par le maître d'ouvrage pour coordonner et contrôler l'opération. Les résultats de cette analyse des coûts sont donnés dans le chapitre suivant, "Bilan des aspects économiques". D'autre part, avec le GAITerre qui comptabilisait les rendements obtenus autant sur la production des briques que sur la mise en oeuvre des maçonneries en blocs de terre comprimée et en pisé. On rend compte ici de la synthèse des résultats de rendements obtenus.

### PROJET EN BLOCS DE TERRE COMPRIMEE DE HAY AL MASSIRA

#### 1. Poste carrière

. Cumul du nombre d'ouvriers : 262 ouvriers
. Cumul du nombre de jours : 37 jours
. Quantité de terre extraite : 456 m3
. Rendements (extraction + tamisage) : 1,74 m3/jour/ouvrier
. Observations : le transport en camion de la terre extraite a été effectué en 284 voyages de camion benne de 3 m3, chaque voyage mobilisant 3 ouvriers + 1 chauffeur.

#### 2. Poste production des blocs type Altech Pact 500

. Cumul du nombre d'ouvriers : 186 ouvriers
. Cumul du nombre de jours : 38 jours
. Cumul des heures de travail : 1.581 heures
. Nombre de blocs produits : 42.117
- module 29,5 x 14 x 9 : 31.462
- module 29,5 x 14 x 6 (arcs) : 10.655
. Rendements
- par ouvrier : 266 blocs/jour
- par équipe (5 ouvriers en moyenne) : 1.108 blocs/jours.
. Observations : sur les 38 jours de production, 11 journées ont été pénalisées par un mauvais fonctionnement de la machine avec une moyenne de production de 500 blocs/jour.



#### 3. Poste élévation de la maçonnerie

- Prototype n° 1 (blocs 20 x 20 x 40 type SBBM)
NB : murs de 20 cm d'épaisseur
. nombre cumulé d'ouvriers : 196 ouvriers
. nombre cumulé d'équipes (2 ouvriers) : 98 équipes
. nombre cumulé d'heures de travail 1.664 heures
. nombre cumulé de m2 construits : 360,92 m2
. nombre moyen de m2 construits/jour : 3,7 m2/jour/équipe
. observations : le suivi ne prend en compte que la construction des murs porteurs en blocs 20 x 20 x 40 auxquels on doit ajouter 51 m2 de cloisons en blocs de 29,5 x 14 x 9.

- Prototype n° 2 (blocs 29,5 x 14 x 9 type Altech Pact 500)
NB : murs de 30 cm d'épaisseur
. nombre cumulé d'ouvriers : 120 ouvriers
. nombre cumulé d'équipes (2 ouvriers) : 60 équipes
. nombre cumulé d'heures de travail : 1.018 heures
. nombre cumulé de m2 construits : 361 m2
. nombre moyen de m2 construits/jour : 6 m2/jour/équipe.

#### 4. Poste construction des planchers (poutrelles BA + hourdis en blocs de terre)

- Prototype n° 1 (blocs 20 x 20 x 40 type SBBM)
. nombre cumulé d'heures de travail : 288 heures
. nombre cumulé de m2 de plancher : 180,62 m2
. nombre moyen de m2/jour/équipe : 6 m2
(1 maçon + 1 ouvrier)

- Prototype n° 2 (blocs 29,5 x 14 x 9 type Altech Pact 500)
. nombre cumulé d'heures de travail : 170 heures
. nombre cumulé de m2 de plancher : 152 m2
. nombre moyen de m2/jour/équipe : 7,5 m2
(1 maçon + 1 ouvrier).

Observations : l'ouvrage réalisé comprend la pose des poutrelles, l'ajustage, le coffrage et le décoffrage. On observe plus de problèmes et de difficultés de pose sur les maçonneries de plus faible épaisseur (murs en blocs de 20 x 20 x 40) que sur les maçonneries en blocs de grosse épaisseur (30 cm en blocs de 29,5 x 14 x 9).

#### 5. Quelques conclusions sur les chantiers prototypes en blocs de terre comprimée

Le suivi des deux chantiers prototypes de Hay al Massira permet d'établir les remarques suivantes :

1. Production des blocs

Ce poste s'est avéré lourd en nombre d'hommes mobilisés autour de l'extraction, du transport et du tamisage et autour de la machine. Une optimisation de ces postes aurait pu se faire aisément avec un homme de moins sur chacun des deux postes, soit une économie de deux hommes qui aurait été très sensible sur la réduction des dépenses du poste personnel, poste dont on a pu constater la charge trop importante sur le bilan économique de l'opération (voir chapitre suivant de cette publication).

Par ailleurs, on remarque clairement la faiblesse des rendements de production qui se situe à hauteur de 50 % de moins de ceux annoncés par le fabricant de la machine. Une optimallsation de ce poste avec une formation plus poussée du personnel et une assurance de fiabilité de fonctionnement de la machine aurait permis une économie de l'ordre de 15 jours de production, soit 760 heures de travail.

2. Construction des murs et des planchers

L'opération prototype de Hay al Massira permet de conforter des remarques déjà émises en ce qui concerne la faisabilité du bloc de terre 20 x 20 x 40 par rapport au bloc de terre 29,5 x 14 x 9. Les résultats obtenus confirment très nettement la faiblesse des rendements de construction et cela avec une différence d'épaisseur des murs (20 cm en blocs de 20 x 20 x 40 et 30 cm en blocs de 29,5 x 14 x 9) et une variation de complexité de l'appareil des blocs (en panneresse pour les blocs 20 x 20 x 40 et en panneresse et boutisse pour les blocs 29,5 x 14 x 9). La différence de rendement constatée est de l'ordre de - 30 % pour le bloc de 20 x 20 x 40. Le volume du bloc et son poids (donc sa maniabilité) ainsi que le type de mortier employé (généralement du type mortier sable-ciment à faible plasticité et manque d'ouvrabilité) apparaissent particulièrement pénalisant en temps de travail et en équivalent de m2 construits.

En ce qui concerne la construction des planchers, on remarquera une nette différence entre les deux types de planchers à poutrelles béton et hourdis de terre (réalisés en maçonnerie de blocs de terre). D'une part, sur le prototype 1, la relative lenteur d'exécution d'un système à voûtains de terre coffrés et d'autre part la meilleure rentabilité (pour des entre-axes de poutrelles plus larges) d'un système ne faisant appel, comme système de coffrage, qu'à un bastaing étayé par des chandelles en bois ou en acier.



PROJET EN PISE DE AIT OURIR

On s'en tiendra ici essentiellement aux postes exploitation des carrières et mise en oeuvre du pisé.

1. Poste carrière

. Quantité moyenne extraite/jour/équipe : 17 m3
. Observations : le camion utilisé pour le transport de la terre extraite était de plus faible capacité que celui employé sur la carrière de Hay al Massira, soit un camion d'environ 2,5 m3. Les rendements observés donnent 2 extrêmes, 10,4 m3 et 23,4 m3, soit un écart de + de 50 % qui est expliqué d'une part par les conditions climatiques d'exploitation des carrières (beau temps ou mauvais temps) et d'autre part, par la variation de texture des gisements exploités avec plus de difficultés pour des terres grenues et chargées en cailloux. Dans l'ensemble, les rendements moyens observés doivent être considérés comme bons.

2. Poste construction des murs en pisé

NB : dimension de la banchée : 2,00 m x 0,90 x 0,45

. Nombre moyen d'ouvriers mobilisés par équipes de travail : 5 ouvriers
. Nombre moyen de m3 de pisé/jour : 5,67 m3
. Nombre moyen de m2 de mur en pisé/jour : 12,60 m2
. Nombre moyen de banchées/jour : 7 banchées.
. Observations sur le pisé : le chantier en pisé de Ait Ourir, malgré les orientations de modernisation de la technique qui ont été précisées avec insistance, doit être considéré comme un chantier "traditionnel" organisé autour de la structure artisanale du "maâlem" et de ses manoeuvres. Le chantier n'a pas été mécanisé (pas d'emploi d'engins de levage de la terre, pas de damage pneumatique de la terre) et les coffrages employés sont restés de facture très traditionnelles à l'exception du 1er et 2ème tour de banchée qui a été en partie réalisé avec un coffrage à structure acier du type " Terre et soleil". Les rendements observés qui oscillent entre deux extrêmes, soit 5 banches et 9 banches par jour, restent malgré tout supérieurs à ceux observés sur les chantiers traditionnels du sud marocain (1 amara et demie par jour, soit 6 banchées ou environ 4,8 à 5,4 m2 de mur selon la taille de la banche, pour une moyenne de 4 à 6 personnes par équipes ; voir document "Marrakech 83, Habitat en terre", CRATerre-GAITerre, 1983). Il faut néanmoins remarquer que les rendements les plus bas obtenus sur Ait Ourir, soit 5 banchées par jour, correspondent à des difficultés de mise en oeuvre, s'agissant des banchées de l'étage. Pour les meilleurs rendements, soit 9 banchées/jour, ils ont été obtenus sur

les premiers tours de banchés avec des équipes allant jusqu'à 8 hommes et doivent finalement être considérés comme très proches de ceux constatés sur les chantiers traditionnels marocains. On remarquera une relative pléthore de main d'oeuvre pour l'exécution du pisé du chantier Ait Ourir, car au nombre d'ouvriers employés pour la seule réalisation des banches, doit être ajoutée une équipe d'environ 3 hommes en moyenne qui était régulièrement employés pour préparer le mélange des composants de la terre à pisé + chaux + hydratation, s'étant agi d'un pisé stabilisé à la chaux.

Observations sur d'autres oeuvres

On voudrait également attirer l'attention sur un poste de chantier intéressant, celui de la réalisation de planchers à poutrelles de béton et hourdis de plâtre armé de filasse (éléments conçus en préfabrication foraine sur le chantier). Ce système constructif imaginé par l'entrepreneur a permis d'obtenir des rendements de pose moyens de 25 m2 de plancher par jour en mobilisant une moyenne de 4 ouvriers, résultats que l'on doit considérer comme très intéressant en comparaison de ceux obtenus avec le système poutrelle béton + voûtains en briques de terre.

Enfin, on notera que les résultats de rendement obtenus sur la réalisation d'un enduit au taddelakt sont très élevés (24 m2/jour/équipe de 3 hommes) expliquant la qualité très contestable des finitions obtenues en façade sur les prototypes d'Ait Ourir (décollements et fissurations). A charge de cette qualité constestable du taddelakt, l'entreprise invoque les délais qui lui ont été imposés pour réaliser les finitions. Il est vrai que cet enduit a été réalisé beaucoup trop tôt (avant le séchage comple du pisé) pour donner toute satisfaction.

3. Conclusions sur le chantier prototype de Ait Ourir

La démonstration qui était attendue, avec ce chantier, de modernisation de la filière pisé, n'a pas pu être faite, faute d'un investissement adéquat de l'entreprise en matériel et en mode d'organisation du chantier adaptés. On doit ici le regretter et souhaiter que la continuation de ce chantier en phase de réalisation finale puisse apporter d'autres résultats plus favorables à une réhabilitation du pisé dans le secteur organisé de la construction. La tranche de 20 logements complémentaires qui doit être réalisée permet aisément d'envisager un amortissement des investissements associés à cette modernisation de la filière avec, en plus, l'avantage d'une conception architecturale plus adaptée (les complexités des prototypes devant être supprimées en 2ème phase) qui ne peuvent être que favorables à cette nouvelle démonstration attendue de la faisabilité de la filière pisé.



# BILAN DE L'AIDE A LA PRODUCTION DES MATERIAUX ET A L'EXECUTION DES CHANTIERS

## 3 - LE CONTROLE ET LE SUIVI TECHNIQUE. AGREMENT ET DEMARCHE PROGRESSIVE

### Liminaire

La mobilisation de l'Administration du contrôle technique de la construction marocaine en faveur d'une actualisation de la construction en matériaux locaux, et notamment de la construction en terre, a permis d'engager une procédure d'agrément qui constitue un texte normatif de référence annexé de documents techniques. Ces documents, élaborés dans la dynamique instituée par la Rexcoop-terre menée par l'ERAC-Tensift de Marrakech et par l'opération menée à Tan-Tan par l'Omnium Marocain de Pêche (voir étude de cas en fin d'ouvrage), ont été élaborés pour permettre l'initiation d'un programme de construction en matériaux locaux dans les onze provinces du Sud du Maroc. Ils constituent, d'ores et déjà une référence technique et administrative pour les acteurs de l'acte de bâtir marocains désireux d'employer les matériaux locaux et plus particulièrement le bloc de terre comprimée qui est, pour l'instant, au centre des préoccupations de ces premiers textes d'agrément.

La synthèse qui suit s'appuit sur une contribution de MM. Hassan Alaoui, Jacques Chandellier et Michel Martin de la D.C.T.C. - C.T.B. qui ont précédemment donné lieu à la présentation de deux communications distinctes ("Agrément et matériaux locaux" et "Maîtrise de la construction et matériaux locaux") à l'occasion du séminaire sur "La Construction en Matériaux Locaux" des 25 et 26 avril 1986, à Marrakech, organisé par le Ministère de l'Habitat en liaison avec l'ERAC-Tensift et la D.C.T.C.. Les textes de ces communications sont reproduits intégralement dans les actes du séminaire de Marrakech (voir bibliographie et ouvrage concerné).

## 3.1. - AGREMENT ET CONSTRUCTION EN TERRE

### Introduction

L'utilisation des matériaux locaux dans le bâtiment constitue un moyen pour faire face à une crise aigüe du logement au Maroc. Ces matériaux constituent des solutions technologiques plus appropriées aux réalités locales.

Le Maroc est riche d'une tradition séculaire de construction en terre qui peut être réactualisée en exploitant les derniers progrès

scientifiques permettant son amélioration et son indispensable adaptation aux exigences de modernité et de qualité.

Pour engager cette réactualisation de la construction en terre, plusieurs obstacles doivent être surmontés et notamment ceux relatifs à l'absence de règlementation spécifique. Il s'agit là d'un handicap majeur qui pénalise le matériau terre et plus largement les matériaux locaux par rapport aux matériaux conventionnels (béton, agglos, acier, etc.).

En effet, l'existence de documents techniques de référence apparaît indispensable pour légitimer, sur un plan rationnel, les pratiques de conception et d'exécution des projets en matériaux locaux. Dans le cadre de marchés publics, et même privés, de construction en matériaux conventionnels on est ajourd'hui obligé de constater un éclatement des tâches et une augmentation du nombre des intervenants : maître d'ouvrage et maîtres d'ouvrage délégués, maîtres d'oeuvre et maîtres d'oeuvre délégués, entrepreneurs et sous-traitant, bureaux d'études, administrations de contrôle technique, laboratoires, organismes de financement, d'assurances, etc., autant d'intervenants de l'acte de bâtir dont les relations mutuelles sont garanties par le langage commun des normes et des règlementations ou codes officiels de la construction, documents qui garantissent aussi la qualité de la construction. Pour les matériaux locaux, la situation de vide normatif qui les caractérise, s'oppose à une sécurisation indispensable des intervenants de l'acte de bâtir et à l'établissement de relations de travail harmonieuses. Du fait de leur caractère non-normalisés, les matériaux locaux risquent le plus souvent d'être écartés.

Il faut donc encourager la mise en place d'une règlementation en commençant par :
-la rédaction de recommandations techniques de mise en oeuvre,
-la rédaction de guides d'autocontrôle de fabrication de produits utilisant le matériau terre ou d'autres matériaux locaux,
-la délivrance d'agréments encourageant leur emploi en construction et l'innovation technologique, tout en garantissant leur réappropriation et un niveau de qualité aussi élevé que celui des matériaux conventionnels.

## Valorisation des matériaux locaux

La quasi-totalité des études concernant la construction en terre ainsi que celles concernant d'autres matériaux locaux (pierre, plâtre), acréditent leur faisabilité mais insistent toutes sur l'obligation d'une conception et d'une mise en oeuvre adaptées aux performances d'utilisation spécifiques de ces matériaux.



Une politique de valorisation des matériaux locaux doit être encouragée qui s'appuiera notamment sur:

-d'une part, sur une utilisation et un suivi rationnel des réalisations en matériaux locaux, ce que les pratiques traditionnelles ne permettent pas aujourd'hui car elles sont basées sur la transmission orale ou gestuelle d'un "savoir-faire" dont la performance depend uniquement de la qualification empirique du "maâlem" et de la main d'oeuvre. Pour être utilisées et suivies de façon rationnelle, il est donc indispensable que les technologies de construction en matériaux locaux puissent bénéficier :
. d'études techniques sur les caractéristiques du matériau,
. de recueils de recommandations constructives,
. d'études technico-économiques comparatives,

-d'autre part, sur une politique de valorisation s'appuyant sur des réalisations exemplaires d'habitat et d'équipements socio-éducatfs à même d'accentuer la crédibilité des matériaux locaux auprés des autorités locales et des populations.

## Agrément et revalorisation de la construction en terre

### A. Généralités

La modernisation des matériaux et des procédés de construction en terre par l'introduction de techniques de production des matériaux et des modes de mise en oeuvre actualisés participe de l'innovation et ne relève pas du domaine normalisable.
Ainsi, à défaut de pouvoir normaliser, il est possible de faire appel à la procédure d'agrément. L'agrément n'est pas uniquement délivré sur la base d'un dossier technique. Il exige des études, des essais en laboratoire, des expérimentations grandeur nature sur prototypes, qui permettront de juger l'aptitude à l'emploi d'un matériau, d'un produit ou d'un procédé de construction. Les procédures d'études et d'essais se réfèrent à celles établies pour des matériaux, produits ou procédés de construction normalisés considérés comme traditionnels et similaires et relevant du domaine normalisable ou ayant fait l'objet de spécifications de mise en oeuvre. Pour contourner le défaut de sanction du temps et de l'expérience, tout en pouvant apprécier la durabilité des performances mesurées, on fait appel à des essais spécialisés de vieillissement artificiel dont les résultats sont comparés avec ceux obtenus sur des matériaux, produits ou procédés de construction similaires. C'est l'ensemble des résultats obtenus qui autorise ou n'autorise pas la délivrance d'un certificat d'agrément qui constitue un document décrivant :
. le mode de fabrication des matériaux ou des produits et de leurs constituants,

. les conditions de leur mise en oeuvre,
. les contrôles à effectuer sur des échantillons de la production.

L'agrément constitue donc un document normatif qui permet de garantir :

-une qualité du matériau ou du produit au niveau du fabricant - car celui-ci est tenu de faire un autocontrôle de qualité dont il doit pouvoir justifier des résultats à tout moment,

-une garantie de qualité des procédés de construction au niveau de l'entreprise car celle-ci est tenue de respecter les conditions de mise en oeuvre,

-une garantie de la part des compagnies d'assurance qui peuvent s'en référer au contrôle de qualité imposé par l'agrément.

B. Un agrément sur les blocs de terre comprimée dotés de documents annexés spécifiques.

Dans le cadre du projet de Tan-Tan (5OO logements en blocs de terre comprimée), l'OMP (Omnium Marocain de Pêche) a été confronté au même titre que l'ERAC-Tensift au vide règlementaire sur la construction en blocs de terre. Face à ce problème, la D.C.T.C. - C.T.B., administration garante de la qualités des normes et codes de mise en oeuvre,a mis en route une procédure d'agrément concernant la fabrication et la mise en oeuvre de blocs de terre comprimée. Trés vite, l'Administration a engagé l'élaboration de plusieurs documents techniques, destinés à être annexés à l'agrément sur le bloc de terre comprimée, dans le cadre de l'initiation d'une "opération de renouveau des constructions en terre dans le sud marocain".(voir étude de cas sur opération "Bni Darek", en fin d'ouvrage). Les documents techniques élaborés par la D.C.T.C. - C.T.B. sont les suivants:

-Un Recueil de Recommandations Constructives : ce document, à l'usage des maîtres d'ouvrage, donne des indications constructives pour les différents ouvrages constituant un logement traditionnel et plus particulièrement pour les ouvrages associés aux murs (fondations, chaînages, raidisseurs, etc.), les murs étant en blocs de terre comprimée.Ce document devrait être par la suite complété par une définition plus fine des caractéristiques des matériaux et des pratiques constructives et devrait illustrer assez clairement la mise en oeuvre.

-Un Guide d'Autocontrôle de Fabrication des Blocs de Terre Comprimée : "Se contrôler pour pouvoir garantir la qualité". L'objectif de l'autocontrôle, qui est une procédure imposée par l'Administration



au travers de la procédure d'Agrément, est de permettre au producteur de garantir en permanence la qualité de sa fabrication. Ce guide d'autocontrôle spécifie les différents essais et contrôles auxquels doit procéder le fabricant pour caractériser et garantir la qualité de son produit.au regard des résultats obtenus. Il est proposé au producteur pour avis et approbation.

-Un "C.P.T. - Terre" (Cahier des Prescriptions Techniques): Fabrication et Mise en Oeuvre des Blocs Comprimés : ce document a été élaboré pour répondre au souci de réaliser des constructions en matériaux locaux de qualité similaire à celles faites avec les matériaux conventionnels ainsi qu'au souci de réduction des coûts grâce à une meilleure maîtrise des techniques. Ce C.P.T. constitue une base minimale pour élaborer un C.P.S. (Cahier des Prescriptions Spéciales) en vue de pouvoir faire appel à l'entreprise, ceci avec des adaptations aux besoins spécifiques de chaque provinces du Sud concernées par l'opération Bni Darek. Le document contient deux grandes parties:
. les matières premières et la fabrication des blocs comprimés: caractéristiques des gisements appropriés à la fabrication et valeurs requises des paramètres de cette fabrication,
. la mise en oeuvre des blocs comprimés: conditions de mise en oeuvre des blocs et précautions à prendre au niveau des baies et l'installation de certains équipements.

Ainsi, grâce à l'existence de ces premiers textes techniques et administratifs normatifs, le vide règlementaire concernant la construction en terre est peu à peu surmonté, favorisant l'établissement d'un consensus entre l'utilisateur et le producteur et permettant de réhabiliter et de garantir un matériau qui a déjà permis la construction de la majeure partie du patrimoine bâti du Maroc. Ce premier travail constitue la base d'une action de normalisation de longue haleine de la construction en terre et plus largement, sur la lancée, de la construction en matériaux locaux.

## 3.2. - LA DEMARCHE PROGRESSIVE

**Un remède: la démarche progressive**

Devant les difficultés rencontrées pour rédiger des cahier des charges permettant le lancement d'un appel d'offres sur les marchés des opérations Hay Al Massira et Ait Ourir, et à la suite d'une expérience de marché de fourniture en matériaux de terre infructueux (offres trop élevées de la part des entreprises en réponse à un premier cahier des charges trop durci par le maître d'ouvrage), l'ERAC-Tensift a adopté une démarche progressive qui a consisté à procéder en deux étapes:

-lancement d'un marché prototypes

-lancement du marché final.

Le marché prototypes représente environ 10 % du marché total et fait suite à un appel d'offres restreint, soit auprès d'entreprises sélectionnées offrant des garanties suffisantes de connaissance du matériau terre. Le cahier des charges de ce marché est allégé mais contient une clause essentielle : les décomptes ne se font pas à partir des ouvrages réalisés avec des prix unitaires, la description de l'ouvrage étant trop imprécise, mais à partir des quantités de matériaux utilisés et d'heures de travail. Il s'agit donc d'un marché en régie contrôlée.

Cette procédure présente plusieurs intérêts:

-la régie contrôlée permet d'analyser tous les coûts et de repérer les points coûteux, donc les postes sur lesquels il faudra gagner lors du marché final,

-le fait de confier les travaux à une entreprise, lors du marché prototype, a des incidences psychologiques sur les entreprises soumissionnaires lors du marché final. En effet, celles-ci sont obligées de constater qu'il y a en quelque sorte une certaine "vérité des prix" qu'elles ne peuvent que difficilemment contourner.

-l'analyse des réalisations prototypes permet de déceler les dispositions constructives qu'il conviendra d'éviter lors du marché final, parce que trop compliquées ou trop onéreuses. Il est donc possible de réajuster le niveau des prestations techniques et d'adopter des choix techniques et architecturaux plus appropriés pour le marché final,

-la phase prototype permet de tirer également tout un ensemble de leçons au plan économique et technique qui ouvrent la possibilité de rédiger un cahier des charges approprié au lancement du marché final permettant de constituer un dossier d'appel d'offres en bonne et dûe forme. Ce cahier des charges qui précise les spécifications techniques de contrôle et de suivi de la qualité des matériaux et de leur mise en oeuvre sous forme de dispositions constructives adaptées (car expérimentées) est réaliste et sécurise, d'une part le maître d'ouvrage qui n'est plus obligé de s'abriter derrière des exigences de garanties trop élevées et, d'autre part les entrepreneurs soumissionnaires qui peuvent s'en référer à l'expérience d'un premier entrepreneur qui a réalisé les prototypes et qui peut leur offrir des garanties de faisabilité.



Par suite, la compétition pour le marché final, qui représente les 90 % de l'ensemble du marché, peut être largement ouverte. A ce stade le décompte peut être envisagé à partir des prix unitaires, selon les objectifs de la maîtrise d'ouvrage.

## Les gains de la démarche progressive

Cette démarche progressive offre le grand avantage d'apprendre au maître d'ouvrage et aux entreprises à travailler ensemble dans un domaine innovant et sur la base de la mise en forme d'un langage technique de référence qui leur est commun et d'établir ainsi des relations de confiance qui prévalent pour les constructions en matériaux conventionnels.

Certes, la démarche progressive, par son caractère novateur, induit lors de la phase prototype, un ralentissemnt des délais d'exécution, du fait de tâtonnements inévitables, mais il s'agit là, une fois l'expérience faite, d'un acquis qui peut avantageusement profiter à d'autres maîtres d'ouvrages et à d'autres entreprises. La démarche profite également avantageusement aux maîtres d'oeuvres qui apprennent à mieux cibler leurs produits en terme de conception technique et architecturale, aux organismes du contrôle technique (laboratoire d'études et d'essais, bureaux d'études, administration du contrôle technique de la construction) qui rodent les procédures de contrôle de la conception technique et du suivi des réalisations et de contrôle de la qualité de la production et de la mise en oeuvre des matériaux locaux.

A ce titre, par son caractère de recherche appliquée et d'expérimentation en grandeur réelle, la démarche progressive permet de s'engager dans la voie d'une codification future des matériaux et des techniques adoptées lors de la phase prototype, elle suscite la mise en forme des agréments, premiers textes techniques et administratifs à caractère normatif indispensables à un suivi rationnel de la construction en matériaux locaux dont on voudrait généraliser l'emploi par la suite, au même titre que la construction en matériaux conventionnels.

# BILAN DES ASPECTS ECONOMIQUES : ETUDE D'EVALUATION TECHNICO-ECONOMIQUE ET ANALYSE DES COUTS

## 1 - ETUDE D'EVALUATION TECHNICO-ECONOMIQUE

### 1.1. - CONCLUSIONS GENERALES DE L'ETUDE

#### Liminaire

L'étude d'évaluation technico-économique des coûts de construction en terre sur Marrakech et Ait Ourir que l'on présente ici a été réalisée à partir d'une enquête sur le terrain, en octobre 1985. Cette étude était destinée à fournir aux principaux acteurs opérationnels de l'opération -le maître d'ouvrage, les maîtres d'oeuvre et les entreprises susceptibles de réaliser les prototypes- des éléments d'appréciation des coûts de production pour les principales filières (blocs de terre comprimée et pisé) et pour les éléments de base de la conception des projets (murs en maçonnerie de blocs de terre et murs en maçonnerie monolithique de pisé). Ces éléments d'appréciation des coûts devaient notamment permettre de mieux cibler la conception (choix des solutions constructives) et les modes d'exécution des "produits" architecturaux. On rappelera ici que cette étude a été réalisée alors que le projet entrait en phase de réalisation, délai que l'on doit considérer comme tardif pour que les conclusions capitales qu'elle apportait aient pu immédiatement profiter au projet. Fort heureusement il ne s'est agi dans un premier temps que de réaliser des prototypes et les enseignements de cette première phase ont permis de réajuster les choix techniques et architecturaux de ces premiers projets qui ne furent pas totalement concluant au plan économique. On remarquera que ces réajustements, essentiellement en termes de dispositions constructives, de dimensionnement des projets (surfaces et développés de murs, volume des espaces) et en terme de niveau de prestations de finitions, correspondent finalement à l'esprit des conclusions de l'étude de faisabilité. Cela confirme une fois encore l'intérêt de réaliser ce type d'étude trés en amont de la réalisation des projets et en tout cas avant même d'entrer en phase de conception, phase qui a souvent tendance, même au stade de l'APS, à entériner des choix techniques et architecturaux dont la faisabilité n'est hélas pas toujours garantie. L'intérêt de ce type d'étude d'évaluation ou de faisabilité technico-économique est justement de mieux situer le registre du possible de ces choix techniques et architecturaux au regard de la contrainte économique.

## Généralités

Dans le secteur formel organisé de la construction, sur Marrakech, une diminution de 10 à 20 % du coût des composants de base conduit à une économie de 0,6 à 1,2 % du coût de la construction, infrastructure non comprise.
Dans le secteur informel (périphérie urbaine et milieu rural), la construction en terre apparaît d'ores et déjà incontournable pour garantir la production d'un habitat économique.
Dans ce cadre, les filières pisé et adobe, déjà compétitives dans le secteur formel organisé, s'imposent. Elle devront être développées.

## Composants sous forme de blocs de terre

Concernant les filières blocs en milieu formel, il faut retenir, pour la maçonnerie en élevation, la filière SEMI-MECA BTS 1 (utilisation de presse type PACT 500 produisant des blocs pleins aux dimensions de 29,5 x 14 x 9) pour des murs de 14 cm d'épaisseur, et les filières SEMI-INDUS BTS (filière semi-industrielle lourde du type SBBM produisant des blocs pleins aux dimensions de 40 x 20 x 17 cm) et SEMI-MECA BTS 2 (filière semi-mécanisée utilisant des presses du type PACT 500 et produisant des blocs pleins aux dimensions de 29,5 x 20 x 10 cm), pour des murs de 20 cm d'épaisseur.

Pour la maçonnerie horizontale (planchers, voûtes et coupoles), il faut retenir, en milieu formel, la filière SEMI-MECA BTS 3 (filière semi-mécanisée utilisant des presses du type PACT 500 et produisant des blocs pleins aux dimensions de 29,5 x 14 x 5 cm).

Il est néanmoins recommandé d'adopter les dispositions complémentaires suivantes :
-imposer au producteur un cahier des charges de production (rendement et régularité de qualité à la livraison)
-fixer un prix de référence du bloc tenant compte d'un plafonnement des marges bénéficiaires à 20 %
-prévoir des pénalités en cas de non livraison au prix de référence (contrôle du Bureau d'Etudes Techniques chargé du marché et du suivi)
Le coût du bloc de terre stabilisée est notamment sensible aux paramètres suivants: rendement de production, distance de transport de la terre, taux de stabilisation et fréquence des contrôles de laboratoire. Il est peu sensible au salaire de l'ouvrier.

## Composant type terre à pisé

Le coût de la terre à pisé est notamment trés sensible aux paramètres suivants: distance de transport de la terre et taux de stabilisation.



## Eléments de maçonnerie en élevation, sans protection de surface

En l'absence d'une filière terre "rodée", le mur de 20 cm en blocs de béton creux (agglos de ciment) reste le plus économique dans le secteur formel organisé, par rapport à la construction en blocs de terre stabilisée, toutes filières confondues. Il est toutefois exclu, pour des raisons d'aspect et d'étancheité, de ne pas enduire les maçonneries en blocs de béton creux, ce qui rétablit l'intérêt économique de la construction de murs de blocs de terre comprimée stabilisée pleins qui, utilisés avec une conception architecturale adaptée et bien appareillés, peuvent économiser l'enduit du fait de leur bel aspect.
On remarquera néanmoins que l'intérêt économique du bloc de béton creux ne doit surtout pas être interprété comme l'exclusion définitive de toute filière terre et particulièrement du pisé non stabilisé ou stabilisé dans seulement 1/3 de son épaisseur (parement extérieur) et de l'adobe. Ces deux techniques sont compétitives dans le secteur formel et incontournables dans le secteur informel.

## Protection de surface

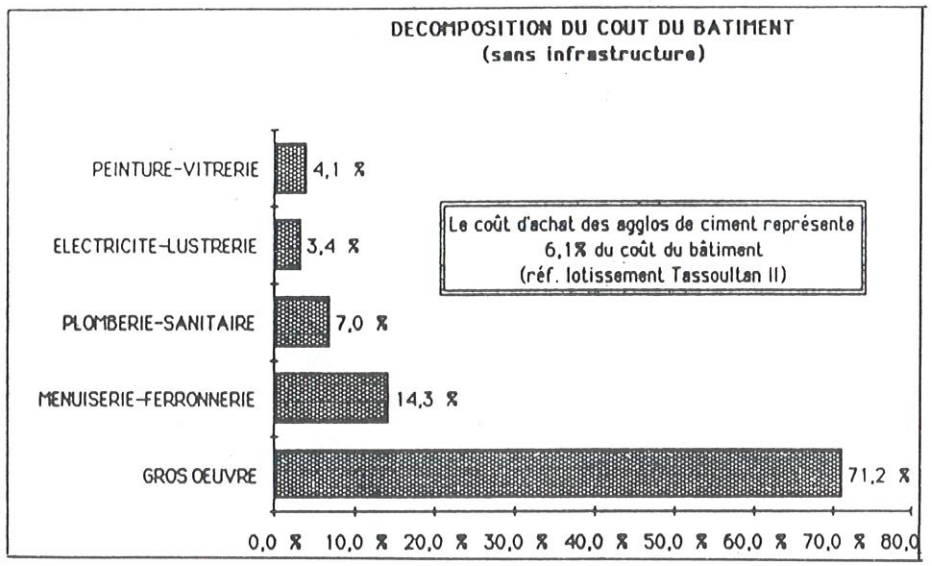
L'enduit sable/ciment a un trés bon rapport qualité/prix et une bonne durabilité. Son usage est néanmoins à proscrire sur un support terre du fait de sont grand module d'élasticité et de sa faible perméance à la vapeur d'eau.
En protection extérieure, les badigeons sont de loin la solution la plus économique mais peu compatible avec le niveau de finition exigé en secteur formel.
Parmi les autres solutions, l'enduit terre/chaux demeure le plus accessible et il est adapté à tous les types de support.
L'usage du taddelakt doit être envisagé avec juste mesure. Il confère néanmoins un trés bel aspect aux ouvrages. On le réservera plutôt pour des finitions intérieures et notamment pour les pièces humides où il est particulièrement adapté.
Il faut souligner ici que lorsque l'architecture est adaptée au matériau terre (protection basse et protection haute des murs, orientation par rapport aux pluies), on peut trés bien se passer d'enduire un mur de terre, ce qui n'est pas le cas pour un mur en blocs de béton creux.

## Fraction du coût de la construction sur laquelle l'utilisation de la terre peut avoir un impact économique

(voir graphe "Décomposition du Coût du Bâtiment - sans infrastructure).

L'utilisation de blocs de terre comprimée (stabilisée ou non) n'est envisageable que pour la construction des murs et secondairement pour la construction de certains types de planchers ou de couvertures.

Il faut donc analyser ce que représente le coût d'achat du composant de base actuellement utilisé pour la construction des murs: le bloc de béton creux (agglomérés de ciment).
Il ressort de l'analyse d'un projet type, que le coût d'achat de l'ensemble des blocs de béton creux constituant les murs ne représente qu'environ 6 % du coût total de la construction, infrastructure non comprise.
Dans le cas le plus utopique, le seul fait d'utiliser des blocs de terre pour les murs ne pourrait diminuer le coût de la construction que d'environ 6 %.
Mais il ne faut pas réaliser l'étude au seul niveau du coût des composants de base, il faut étudier le niveau suivant, celui ou les composants de base seront mis en oeuvre pour constituer les murs.






## 1.2. PRESENTATION DETAILLEE DE L'ETUDE

### 1.2.1 - TERMINOLOGIE, METHODE ET PARAMETRES

**Terminologie**
Cette étude emploie une terminologie particulière qu'il convient de préciser d'emblée afin d'en faciliter la compréhension. Voici donc quelques définitions des principaux termes et des principales abréviations employées.

Composant:
Le terme composant signifie composant de maçonnerie sous forme de bloc de terre ou sous forme de terre à pisé. Le composant s'entend non mis en oeuvre.

Elément:
Le terme élément signifie composant mis en oeuvre sous forme de mur en maçonnerie de blocs de terre ou mur en maçonnerie de pisé.

Abréviations générales

| | |
|---|---|
| BA | Béton Armé |
| BBC | Bloc de Béton Creux (agglomérés de ciment) |
| BT | Bloc de Terre |
| BTC | Brique de Terre Cuite |
| BTS | Bloc de Terre Stabilisée |
| MANU | Manuelle |
| MECA | Mecanisée |
| SEMI-INDUS | Semi-Industrielle |
| SEMI-MECA | Semi-Mécanisée |

**Méthode de l'étude**

Les simulations chiffrées des prix de revient des composants ou des éléments étudiés sont réalisés en tenant compte d'une centaine de paramètres et d'une centaine de résultats intermédiaire, pour chaque simulation.
Les paramètres sont issus d'une enquête menée sur place auprès des différents acteurs.
Tous les calculs sont effectués avec un taux de bénéfice de 20 % et un taux de rendement fixé à 70 % de la capacité maximale de production.
Le contexte de production est Marrakech en ce qui concerne les blocs de terre et les murs en maçonnerie, Ait Ourir en ce qui concerne le pisé.
L'étude est décomposée en deux niveaux: le niveau composant (bloc, terre à pisé, mortiers, enduits, badigeons) et le niveau élément, où les composants sont mis en oeuvre sous forme de murs.

**Principaux paramètres de base de l'étude** (octobre 1985)

| | |
|---|---|
| Terre | 18 DH/m3 extrait et chargé sur camion benne |
| Ciment CPAZ 325 | 566 DH/T à l'entrepôt |
| Chaux à tamiser | 380 DH/T à l'entrepôt |
| Transport en vrac | 5 DH/m3 dans Marrakech<br>2 DH/T/km hors Marrakech |
| Eau | 1,12 DH/m3 |
| Electricité | 0,92 DH/KW h |
| Essence ordinaire | 5,90 DH/l |
| Essence super | 6,12 DH/l |
| Gazole | 3,52 DH/l |
| Salaires | 23,50 DH/jour ouvrier non qualifié<br>35 DH/jour ouvrier qualifié ("compagnon")<br>50 DH/jour chef d'équipe ("caporal") |
| Charges sur salaire | 16,70 % |
| Nombre de jours effectifs de travail par an | 290 |

Nota Bene: tous les prix sont donnés TTC.

## 1.2.2. - ETUDE AU NIVEAU DU COMPOSANT

### Types de composants

Les blocs sont caractérisés par la nature des filières de production. Ces différentes filières (Adobe, blocs de terre comprimée pleins ou creux) sont dénommées et caractérisées comme il suit:

| | |
|---|---|
| MANU ADOBE | Production manuelle d'adobes à l'aide de moules en acier; blocs pleins aux dimensions 30 x 15 x 3,5 cm |
| MANU BTS 1 | Production manuelle de blocs de terre comprimée à l'aide de presses type AIT OURIR ; blocs pleins aux dimensions 30 x 20 x 15 cm |
| MANU BTS 2 | Production manuelle de blocs de terre comprimée stabilisée à l'aide de presses type TERSTARAM ; blocs pleins aux dimensions 29,5 x 14 x 9 cm |
| SEMI-MECA BTS 1 | Production semi-mécanisée de blocs de terre comprimée stabilisée à l'aide de presse type PACT 500; blocs pleins aux dimensions 29,5 x 14 x 10 cm |
| SEMI-MECA BTS 2 | Production semi-mécanisée de blocs de terre comprimée stabilisée à l'aide de presse type PACT 500; blocs pleins aux dimensions 29,5 x 20 x 10 cm |



| | |
|---|---|
| SEMI-MECA BTS 3 | Production semi-mécanisée de blocs de terre comprimée stabilisée à l'aide de presse type PACT 500; blocs pleins aux dimensions 29,5 x 14 x 5 cm |
| MECA BTS | Idem SEMI-MECA BTS 1 + 1 malaxeur planétaire |
| SEMI-INDUS BTS | Production semi-industrielle à l'aide d'une installation lourde type SBBM; bloc plein aux dimensions 40 x 20 x 17 cm |
| SEMI-INDUS BBC | Production semi-industrielle à l'aide d'une installation lourde type SBBM; bloc de béton creux 40 x 20 x 20 cm |
| SEMI-INDUS BTC | Production semi-industrielle de briques de terrecuite à l'aide d'une installation lourde du type de la Briqueterie Marocaine de Marrakech ; brique cuite pleine 6 x 11 x 2,2 cm |

Nota Bene:
-Pour les filières BTS, en l'absence de caractérisation exacte des terres utilisées (au moment où l'étude d'évaluation est réalisée), un taux moyen de stabilisation au ciment de 6 % est considéré.
-Egalement dans le cadre de cette étude, les filières de production de la terre à pisé prête à la mise en oeuvre, des mortiers, des badigeons et des enduits ne font appel qu'à de la main d'oeuvre, un outillage et un équipement légers.

### Comparaison du coût des composants de maçonnerie en élevation

(voir graphes "Comparaison des Coût du Bloc à l'Unité et au m3)

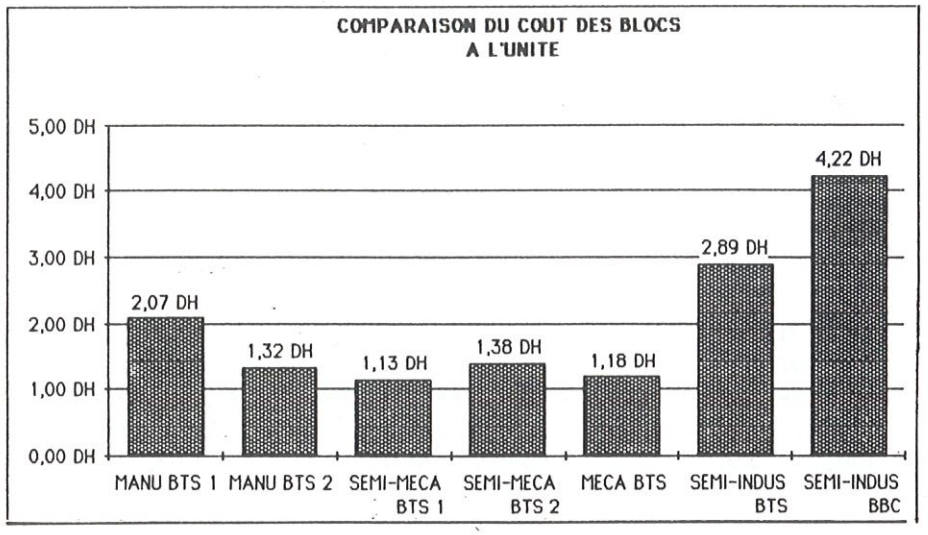
Le coût de vente du bloc produit par la filière SEMI-INDUS BBC (semi-industrielle Bloc de Béton Creux), est un coût constaté ; tous les autres coûts de vente sont calculés selon la méthode précédemment présentée.
La comparaison du coût des composants fait ressortir combien le seul coût à l'unité est trompeur. Aussi, on comparera uniquement les coûts au m3 de composants.
Il en résulte que la taille du bloc est un paramètre plus important que sa méthode de production.

Mais on devra prêter attention à la différence de qualité des blocs:
-les filières MANU BTS 2 (blocs pleins type Terstaram, 29,5 x 14 x 9 cm), SEMI-MECA BTS 1 (blocs pleins type PACT 500, 29,5 x 14 x 10 cm), MECA BTS (blocs pleins type PACT 500 + malaxeur planétaire, 29,5 x 14 x 5 cm) et SEMI-INDUS BTS (blocs 40 x 20 x 17 type SBBM), produisent toutes des blocs de bonne qualité ;

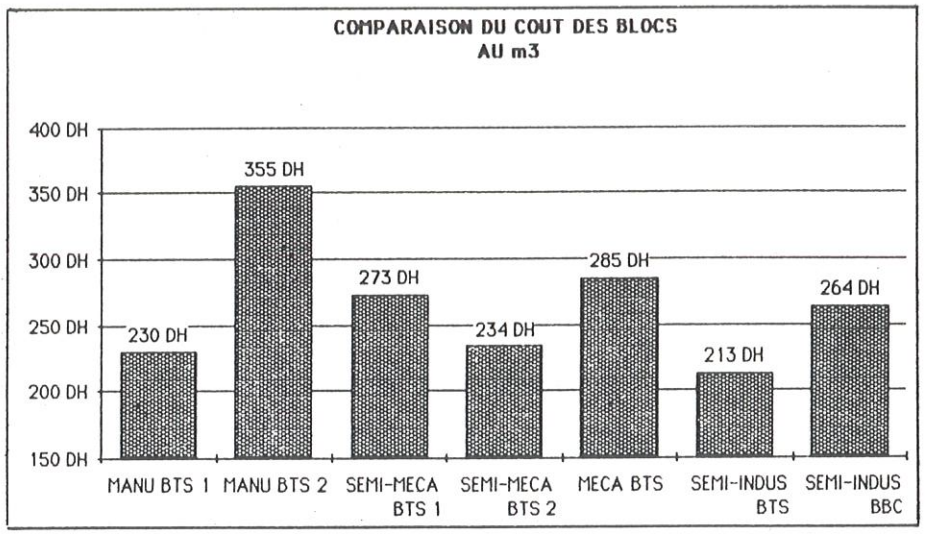
-la filière SEMI-MECA BTS 2 (blocs pleins type PACT 500, 29,5 x 20 x 10 cm) peut produire des blocs plus gros que la filière SEMI-MECA BTS 1 (blocs pleins de 14 cm de large), mais de qualité un peu inférieure ;
-la filière MANU BTS 1 (blocs pleins type AIT OURIR, 30 x 20 x 15 cm) ne peut et ne doit être employée qu'en milieu informel du fait d'une grande irrégularité de qualité des blocs (une face régulièrement moins compactée) ;
-les filières MANU BTS 2 (blocs pleins type Terstaram, 29,5 x 14 x 9 cm) et MECA BTS (blocs pleins type PACT 500 + malaxeur planétaire, 29,5 x 14 x 5 cm) produisent des blocs qui ne sont pas concurrentiels en secteur formel.

Il faut retenir la filière SEMI-MECA BTS 1 pour la production de blocs de 14 cm de large, les filières SEMI-INDUS BTS et SEMI-MECA BTS 2 pour la production de blocs de 20 cm de large.
A noter que les filières SEMI-MECA BTS 1 et SEMI-INDUS BTS existent déjà sur la place de Marrakech et que la filière SEMI-MECA BTS 2 n'est qu'une modification facilement réversible de la filière SEMI-MECA BTS 1 (changement des moules).

Il est recommandé:
-d'imposer au producteur un cahier des charges de production
-de fixer un prix de référence du bloc, tenant compte d'un plafonnement des marges bénéficiaires à 20 %
-de prévoir des pénalités en cas de non livraison au prix de référence
-de mandater le BET "marché" pour constater cette régularité de livraison au prix de référence.






**Comparaison du coût des composants de maçonnerie horizontale (planchers, voûtes et coupoles)** - (Voir graphes "Comparaison des coûts du bloc à l'unité et au m3)

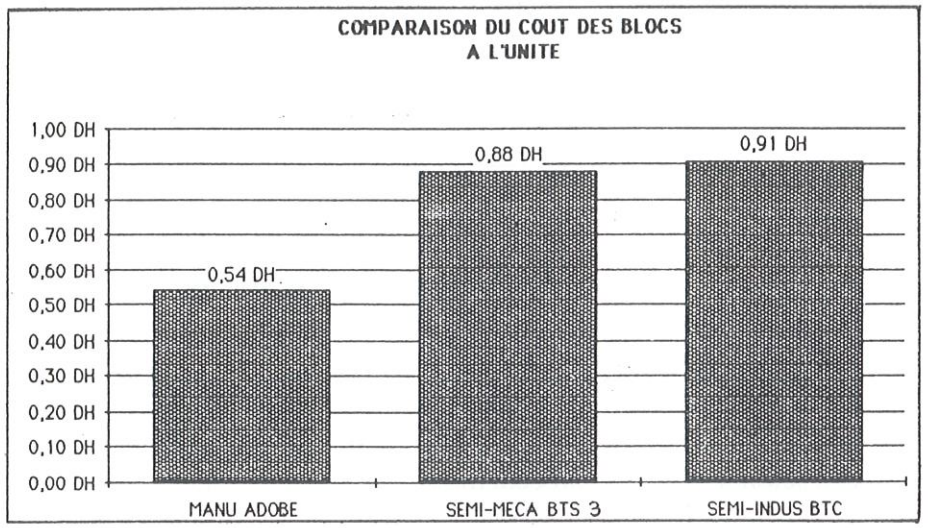
Le coût du bloc produit par la filière SEMI-INDUS BTC (filière Briques de Terre Cuite) est un coût constaté, tous les autres coûts sont calculés selon la méthode précédemment exposée.
La comparaison du coût des composants fait ressortir combien le seul chiffre du coût à l'unité est trompeur. Aussi on comparera uniquement les coûts au m3 de composants.

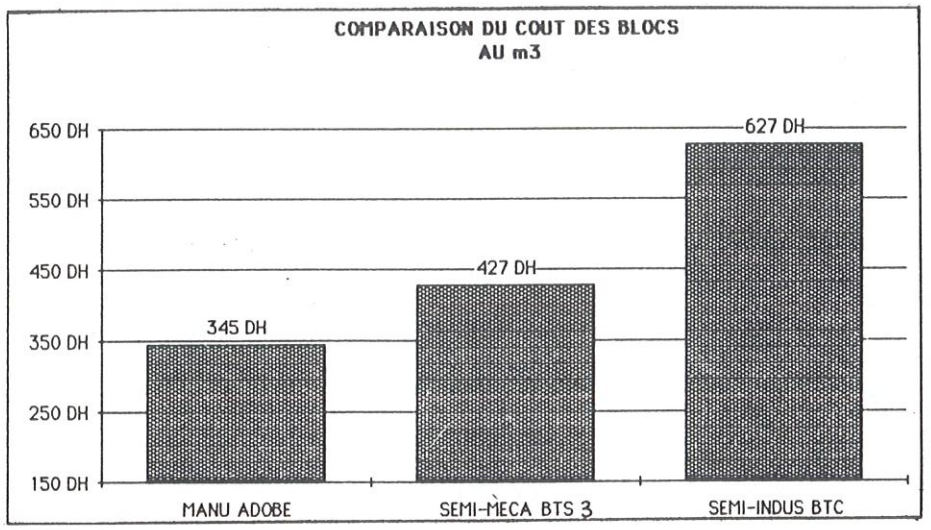
La filière MANU ADOBE (production manuelle traditionnelle de briques d'adobe moulées) produit des blocs trés économiques mais dont l'usage sera trés difficile à faire passer en milieu formel (bien que ces pratiques existent en certains pays industrialisés - USA notamment - et sont satisfaisantes). Pour donner un aspect fini correct à la sous-face des plafonds en adobe, il faudra employer un enduit de finition de bonne épaisseur.

La filière SEMI-INDUS BTC produit des briques de qualité mais qui ne sont pas concurrentielles au niveau économique.

La filière SEMI-MECA BTS 3 (blocs pleins type PACT 500 de 5 cm d'épaisseur) produit des blocs d'un trés bon rapport qualité/prix qui ne nécessitent en sous-face qu'un simple badigeon, pour peu que la mise en oeuvre soit soignée. Il est à noter que cette filière n'est qu'une modification de la filière SEMI-MECA BTS 1 (changement de moule) qui existe déjà sur la place de Marrakech.

Il est recommandé là encore:
-d'imposer au producteur un cahier des charges de production
-de fixer un prix de référence du bloc, tenant compte d'un plafonnement des marges bénéficiaires à 20 %
-de prévoir des pénalités en cas de non livraison au prix de référence
-de mandater le BET "marché" pour constater cette régularité de livraison au prix de référence.

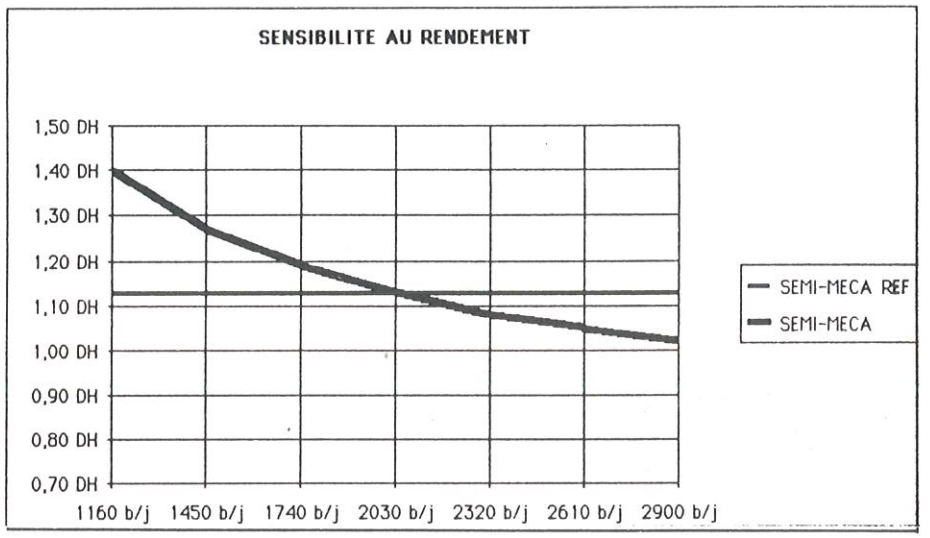




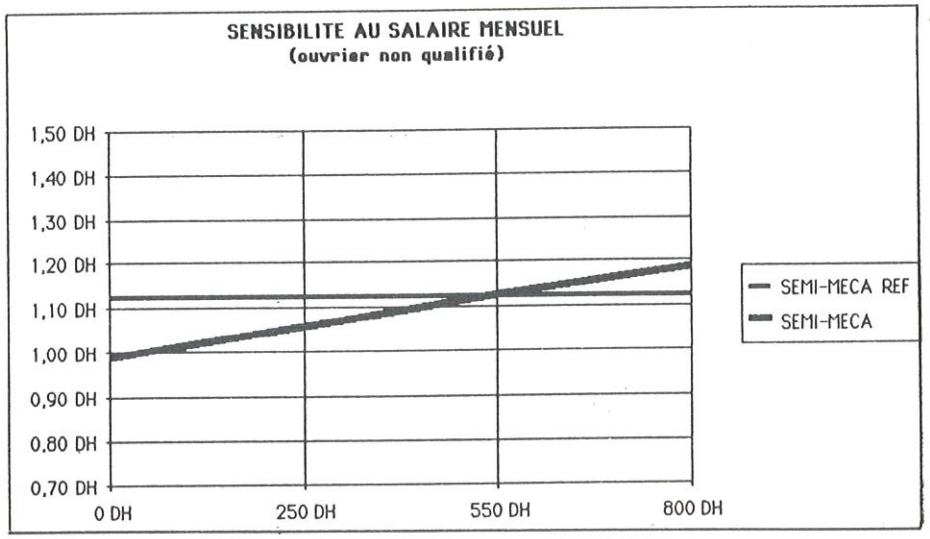

**Sensibilité du coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 au rendement**
(Voir graphe "Sensibilité au Rendement")

Il a été choisi de poursuivre l'étude des sensibilités sur la filière SEMI-MECA BTS 1 (blocs pleins type PACT 500 de 29,5 x 14 x 10 cm), celle-ci étant opérationnelle en phase de construction des prototypes du projet de Hay Al Massira.
La valeur absolue des résultats pourra évoluer modérément en phase projet.
Le coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 est assez sensible au rendement. Aussi, il faudra veiller, par un bon encadrement et une organisation efficace de la briqueterie, à ne pas produire moins de 1700 blocs/jour si on ne veut pas voir "grimper" dangereusement le coût du bloc.



**Sensibilité du coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 au salaire mensuel d'un ouvrier non qualifié** (Voir graphe "Sensibilité au Salaire Mensuel")

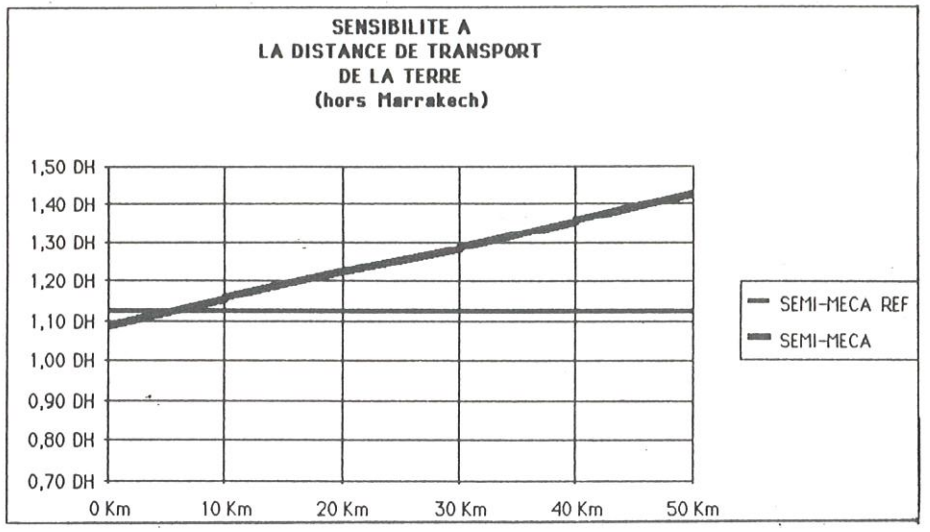
Le coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 est peu sensible au salaire mensuel d'un ouvrier non qualifié.
On pourra donc augmenter sensiblement le salaire des ouvriers et exiger un rendement correct, une bon soin accordé aux opérations amont de préparation du mélange terre / ciment /eau et au stockage ordonné des blocs.




**Sensibilité du coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 à la distance de transport de la terre** (Voir graphe correspondant)

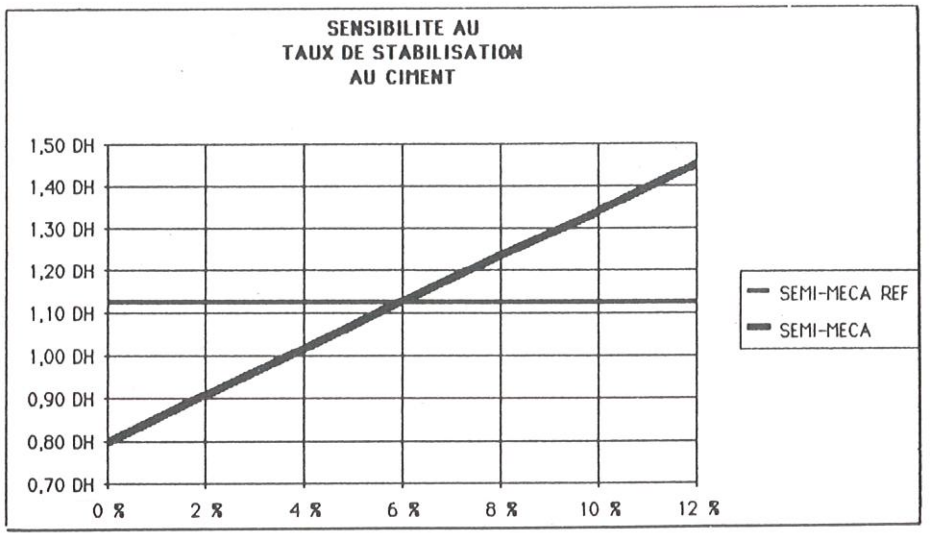
Le coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 (filière bloc plein type PACT 500, 29,5 x 14 x 10 cm) est trés sensible à la distance de transport de la terre dès que l'on sort de l'aire urbaine de Marrakech.
Aussi, dans le cas de l'installation d'une briqueterie hors Marrakech, il faudra veiller à ce que la carrière de terre soit située à moins d'une douzaine de kilomètres (rayon de distance maximale).
Faut-il mieux transporter la briqueterie, la terre ou les blocs ?
Il ne peut y avoir de réponse simple.
On gardera seulement à l'esprit que la somme des distances carrière / briqueterie + briqueterie / chantier doit rester la plus faible possible et que l'implantation d'une nouvelle briqueterie nécessite un nouvel investissement, de nouveaux ouvriers et une nouvelle organisation. Il est préférable d'éviter la multiplication des unités de production, pour garantir un meilleur amortissement des investissements.





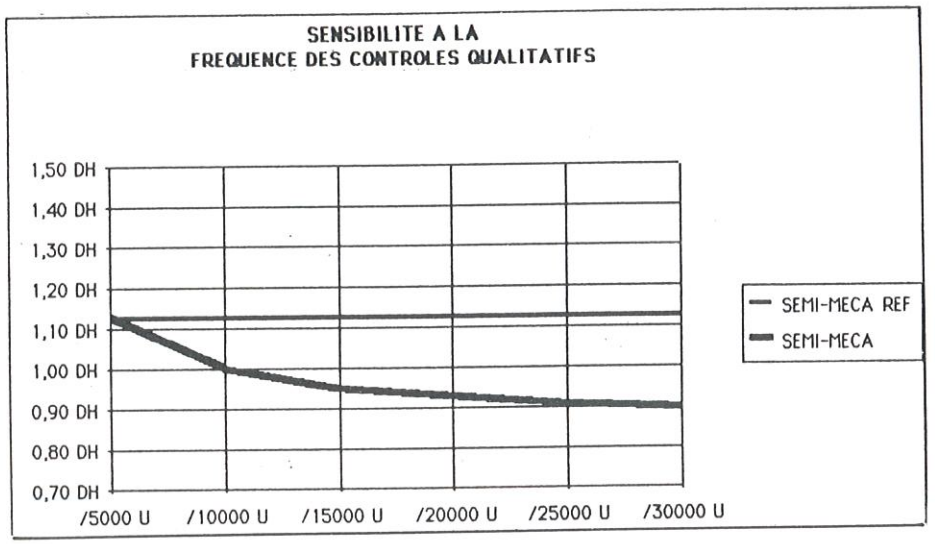

**Sensibilité du coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 au taux de stabilisation au ciment** (voir graphe "Sensibilité au taux de stabilisation au ciment")

Le coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 (bloc plein type PACT 500, 29,5 x 14 x 10 cm) est trés sensible au taux de stabilisation au ciment.
Aussi faut-il choisir trés soigneusement la terre, ne pas gaspiller le ciment lors de son transport et de son stockage, effectuer une bonne préparation du mélange terre / ciment / eau en vue d'une stabilisation moindre.
Une baisse du taux de stabilisation, en-deçà de 6 %, ne pourra s'effectuer que lorsque la filière de production sera "rodée" et sous contrôle du laboratoire mandaté pour cette mission.



**Sensibilité du coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 à la fréquence des contrôles qualitatifs** (voir graphe correspondant)

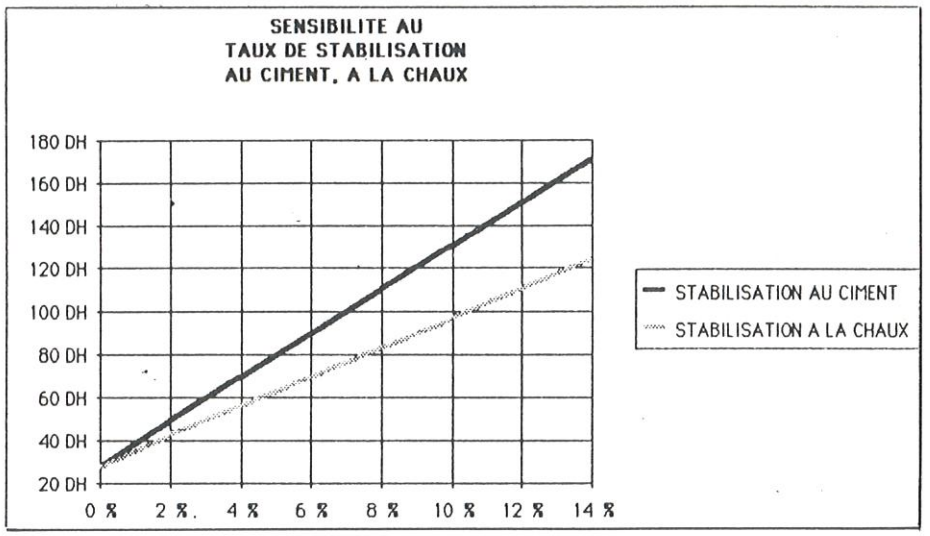
Le coût du bloc SEMI-MECA BTS 1 (bloc plein type PACT 500, 29,5 x 14 x 10 cm) est trés sensible à la fréquence des contrôles qualitatifs. En phase prototype, la fréquence des contrôles est fixée à 1 contrôle tous les lots de 5000 blocs produits, ceci pour pouvoir détecter trés rapidement les anomalies et y remédier.
Si les résultats sont bons, on pourra, lors de la phase projet, réduire la fréquence des contrôles à 1 contrôle tous les 20000 blocs produits, ce qui diminuera le coût du bloc de 0,20 DH. Cette hypothèse devra faire l'objet d'une convention en phase de projet "rodé" avec les laboratoires de contrôle.




**Sensibilité du coût de la terre à pisé prête à la mise en oeuvre au taux de stabilisation** (Voir graphe "Sensibilité au taux de stabilisation au ciment, à la chaux")

La terre à pisé prête à la mise en oeuvre est trés sensible au taux de stabilisation.
La stabilisation à la chaux, bien que demandant plus de travail (tamisage de la chaux éteinte), est plus économique que la stabilisation au ciment.
Attention: le point de vue économique ne doit pas prévaloir sur la bonne adéquation terre / stabilisant. On ne stabilise pas n'importe quelle terre avec n'importe quel stabilisant. On devra à cet effet pratiquer les analyses et les essais qui s'imposent pour définir précisément le type et le taux de stabilisant en fonction des terres disponibles.






## 1.2.3. - ETUDE AU NIVEAU DE L'ELEMENT

### Liminaire

Pour cette étude au niveau de l'élément, on a volontairement séparé, d'une part l'étude des murs et d'autre part l'étude des protections de surface, ceci pour permettre un grand nombre de combinaison support / protection de surface extérieure / protection de surface intérieure, en évitant de complexifier la présentation des résultats de l'étude.

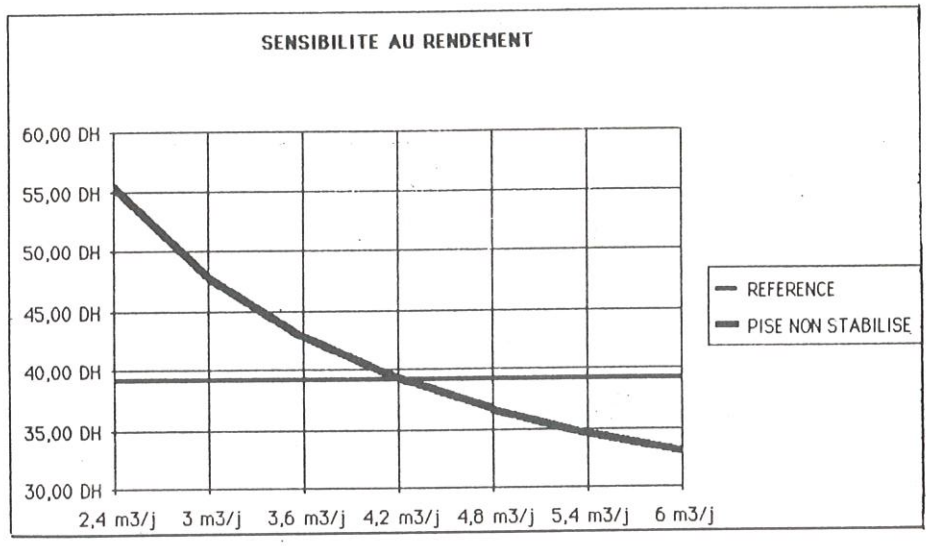
Les filières de production analysées, soit la production des murs en maçonnerie de blocs de terre ou en pisé et les différents types de protections de surface (badigeons et enduits) ne font appel, dans leur mise en oeuvre qu'à de la main d'oeuvre, un outillage et un équipement légers.

**Comparaison du coût au m2 des murs de maçonnerie sans protection de surface** (voir graphe "Comparaison du coût des murs au m2 "

Les coûts des murs de 20 cm en blocs de béton creux (SEMI-INDUS BBC) et des murs de 40 cm en blocs d'adobe (MANU ADOBE) sont des coûts constatés, tous les autres coûts sont calculés selon la méthode précédemment exposée.
Il résulte de la comparaison qu'en absence de filière terre "rodée" le mur de 20 cm en blocs de béton creux (agglos de ciment) reste le plus économique en milieu formel. Il est toutefois exclu, pour des raisons d'aspect et d'étanchéité, de ne pas l'enduire.

Un mur de 20 en Blocs de terre stabilisée coûte en moyenne 87 DH / m2 quelle que soit la filière qui produit les blocs (MANU BTS 1, SEMI-MECA BTS 2 ou SEMI-INDUS BTS).

Il est important de constater qu'un mur de 40 cm en blocs d'adobe, en milieu informel, coûte 6 fois moins cher qu'un mur de 20 cm en blocs de béton creux zn milieu formel.
On estime qu'un mur de 40 cm en blocs d'adobe reviendrait à moins de 50 DH/m2 en milieu formel.
Il faut envisager de développer une filière adobe en milieu formel.

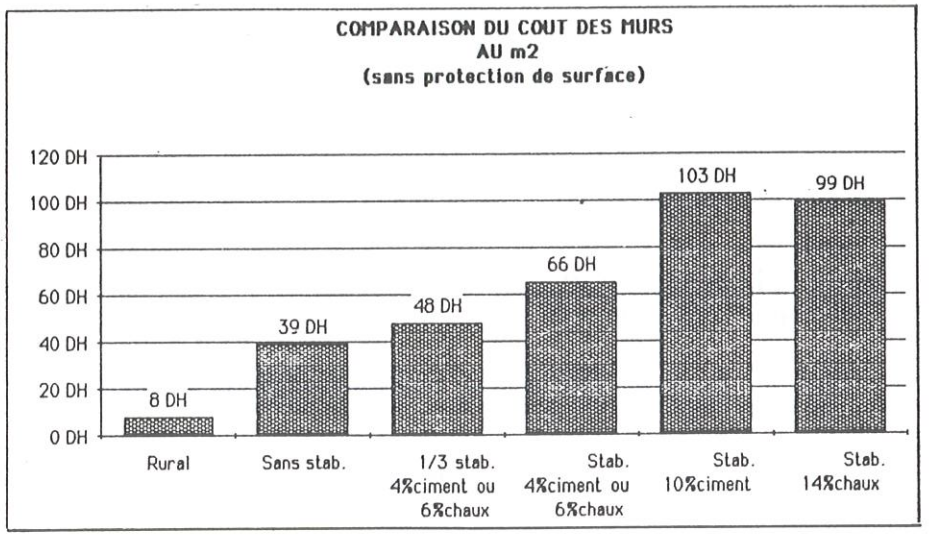



**Comparaison du coût au m2 des murs en pisé sans protection de surface** (voir graphe correspondant)

Le mur de 45 cm en pisé non stabilisé est trés concurrentiel au niveau économique par rapport à un mur de 20 cm en blocs de béton creux et ceci reste encore vrai pour le mur en pisé dont seulement 1/3 de l'épaisseur est stabilisée (parement extérieur du mur).
Le mur en pisé totalement stabilisé reste encore assez concurrentiel mais un tel couple pisé + stabilisation doit être évité dans le cas d'une garantie de qualité des terres disponibles et d'une bonne conception architecturale. Par contre le mur en pisé hyperstabilisé est à proscrire sauf pour des dispositions constructives trés exposées (acrotères par exemple).
Il est important de constater qu'un mur de 45 cm en pisé non stabilisé, en milieu informel, coûte 5 fois moins cher que le même mur en milieu formel et 8 fois moins cher qu'un mur de 20 cm en blocs de béton creux en milieu formel.

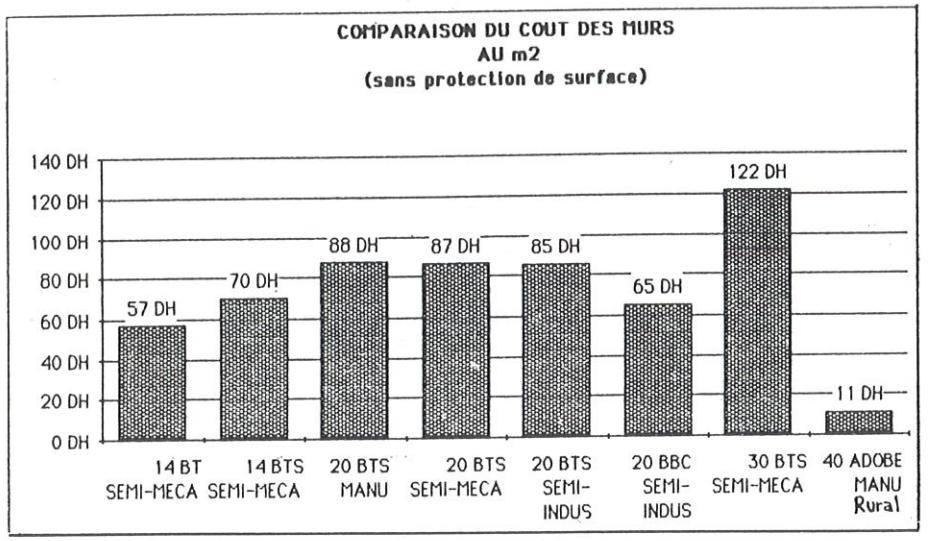


En plus de sa compétitivité au plan économique, il faut reconnaître au mur de pisé sa compétitivité au niveau technique. Il offre à l'habitant une masse thermique trés importante, garante d'un meilleur confort climatique. Il permet aussi de minimiser la structure du bâtiment car sa forte épaisseur garantit sa stabilité. Enfin, le long passé d'utilisation du pisé devrait être un avantage important au plan culturel.
Il faut dynamiser cette filière en recherchant systématiquement des sites d'exploitation de carrières proches des chantiers car le transport de terre sur une distance supérieure à 5 km ruinerait les efforts.




**Sensibilité au rendement du coût d'un m2 de mur en pisé non stabilisé sans protection de surface** (Voir graphe "Sensibilité au Rendement")

Le coût d'un m2 de mur de 45 cm en pîsé non stabilisé est trés sensible au rendement.
L'architecte concepteur de projets en pisé devra veiller à ne pas rendre les ouvrages trop complexes et devra limiter les grandes hauteurs et développés de murs.
Sur chantier il faudra tenir régulièrement un rendement journalier d'exécution correspondant à 1,5 "amara" (6 banchées) en bas de mur et de 0,5 "amara" (2 banchées) en haut de mur, pour une équipe composée de 1 "maâlem" et 3 aides.




## Comparaison du coût au m2 des protections de surface

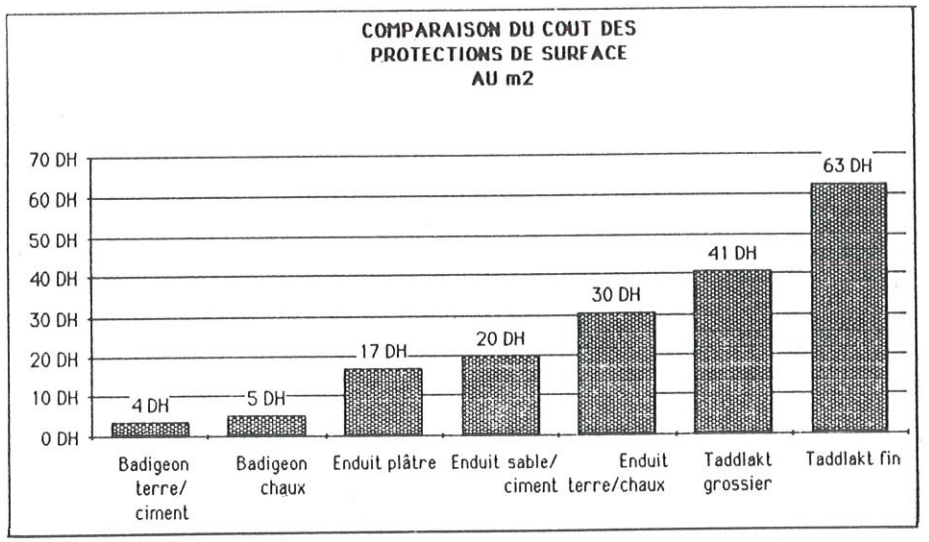
(Voir graphe correspondant)

Il faut différencier la protection de surface extérieure de la protection de surface intérieure et les différents types de supports.

1-Protection de surface extérieure sur murs en terre

Les badigeons (terre / ciment ou chaux) sont de loin les plus économiques mais ils ne peuvent être appliqués que sur un support de bonne qualité et ils nécessitent un entretien régulier difficilement compatible avec le mode d'occupation locatif en milieu formel.
On ne les utilisera que sur des parties d'ouvrage totalement abritées.
L'enduit terre / chaux a un bon rapport qualité / prix et une bonne durabilité
Le taddelakt grossier reste encore accessible, il a une bonne durabilité et permet une belle finition.
Le taddelakt fin doit être réservé à la décoration ou pour la protection des ouvrages trés exposés (pièces humides par exemple).






2-Protection de surface extérieure sur murs en béton ou blocs de béton creux

L'enduit sable / ciment a un trés bon rapport qualité / prix et une bonne durabilité.
Son usage est toutefois à proscrire sur des support en terre, du fait d'un module d'élasticité trop elevé et d'une trop faible perméance à la vapeur (risque de point de rosée caché et de pathologie humide pernicieuse à l'interface mur de terre et enduit).

3-Protection de surface intérieure des murs en terre

Les badigeons (terre / ciment ou chaux) sont de loin les plus économiques mais ils ne peuvent être appliqués que sur un support de bonne qualité et ils nécessitent un entretien régulier difficilement compatible avec le mode d'occupation locatif en milieu formel.
L'enduit au plâtre est trés économique et il a une bonne durabilité tant qu'il n'est pas trop exposé à l'humidité.
Le taddelakt fin permet une bonne protection des pièces humides et il est trés décoratif.

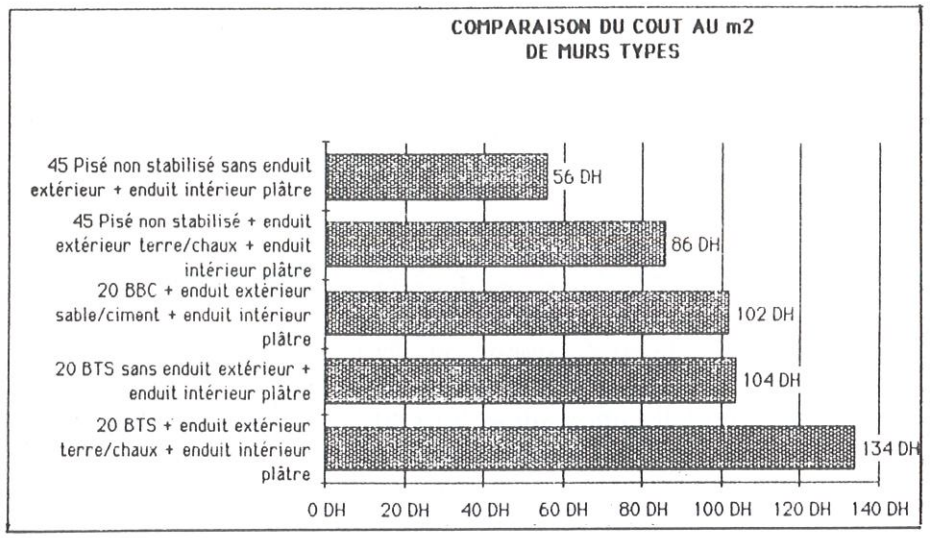
4-Protection de surface intérieure sur murs en béton ou blocs de béton creux

L'enduit plâtre est trés économique et il a une bonne durabilité tant qu'il n'est pas trop exposé à l'humidité.

**Comparaison du coût au m2de murs types** (Voir graphe correspondant)

Il ressort de la comparaison que le mur de 20 cm en BTS peut être compétitif par rapport au mur de 20 cm en BBC (Blocs de Béton Creux), que s'il n'est pas enduit à l'extérieur. Ceci n'est vrai que dans l'état actuel du développement de la filière BTS que l'on doit considérer comme embryonnaire.
D'ores et déjà, le mur en pisé non stabilisé de 45 cm d'épaisseur est plus économique que le mur de 20 cm en BBC.
Le mur en pisé stabilisé dans seulement 1 / 3 de son épaisseur reste compétitif (78 DH / m2 sans enduit extérieur, avec enduit intérieur au plâtre et 95 DH / m2 avec enduit extérieur terre / chaux et enduit intérieur au plâtre).

La filière adobe en milieu formel devra faire l'objet d'une étude plus approfondie, mais un mur de 40 en adobe se situera probablement à moins de 100 DH / m2 avec enduit extérieur en terre / chaux et enduit intérieur au plâtre.






## 2 - ANALYSE DES COUTS

Cette analyse des coûts des opérations prototypes de Ait Ourir et Hay Al Massira a été réalisée par le Bureau d'Etudes Technique PROMOCONSULT qui a été mandaté par le maître d'ouvrage pour assurer le suivi économique de cette phase expérimentale. Les bilans financiers qui suivent font apparaître une dérive en ce qui concerne le poste personnel confirmant ainsi que le contrôle de la régie n'a pas été assez rigoureux. Cette première phase expérimentale aura eu l'avantage de "roder" les choix techniques et architecturaux ainsi que les pratiques de chantier et de permettre, au-delà des enseignements qu'elle fournit, de recadrer autant les éléments de conception architecturale que les modes d'exécution. Il est ainsi possible de situer les coûts prévisionnels possibles de la phase de chantier finale, au-delà de ces recadrages et en tenant compte notamment d'un mode d'exécution dans le cadre d'un marché au forfait à l'issue d'un appel d'offres élargi qui permettra de laisser libre cours à la concurrence, à l'avantage de l'opération.

### 2. 1. - OPERATION PROTOTYPES AIT OURIR TERRE

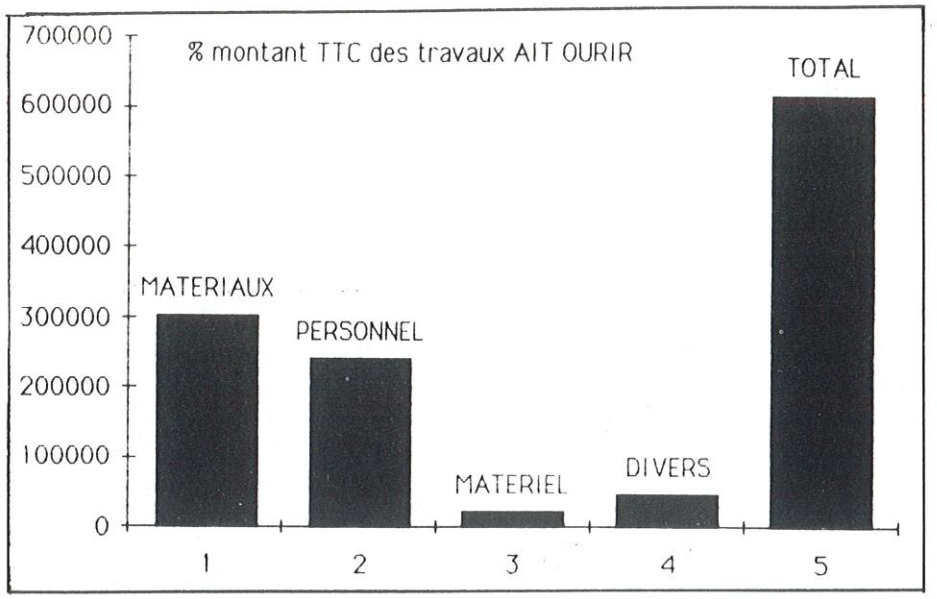
**Aspect financier: analyse et commentaires**

La ventilation des montants par corps d'Etat est correcte à l'exception du poste "Menuiserie, Peinture, Vitrerie" qui paraît faible (6,2 %). Cela résulte d'un choix délibéré et conforme aux plans d'exécution qui ont pondéré, à la baisse, le niveau de prestation de ce lot, s'agissant d'un programme "standing". En effet, le pourcentage moyen habituellement consacré à ce lot est habituellement de 12 %.

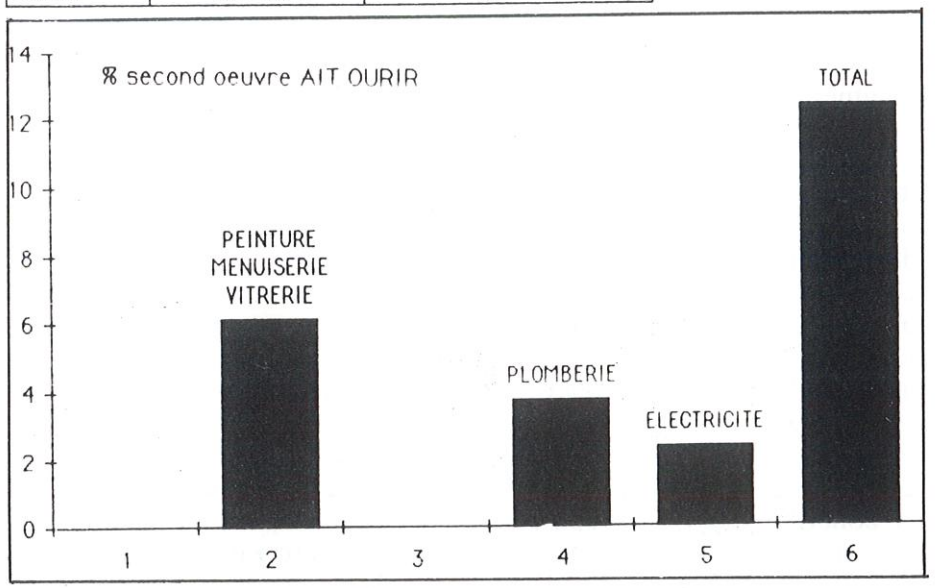
Le poste "Personnel" représente un pourcentage (39,2 %) du montant des travaux trop important. La cause en est la nature même du marché passé en régie. En effet, l'entrepreneur n'étant pas limité dans ce domaine n'a pas cherché à optimiser ce poste.
Dans le cadre d'un marché au forfait, une réduction de ce poste est à prévoir sans difficulté. De fait et dans un souci de rentabilité, l'entrepreneur mettra tout en oeuvre pour réduire les dépenses du personnel. Un pourcentage de 30 nous semble envisageable dans des conditions de concurrence ouverte.

Le poste "Matériel" est par contre réduit à sa plus simple expression. Il ne concerne que les transports de matériaux par camion. En effet, les prix unitaires des différents matériels étant trop élevés, risquaient d'alourdir le budget de l'opération.

| | MONTANT HT | % | MONTANT TTC | % |
|---|---|---|---|---|
| MATERIAUX | 258.494,00 D | 49,5 | 304.253,11 D | 49,3 |
| PERSONNEL | 203.701,60 D | 39 | 242.404,90 D | 39,2 |
| MATERIEL | 20.400,00 D | 3,9 | 23.256,00 D | 3,8 |
| DIVERS | 40.000,00 D | 7,6 | 47.600,00 D | 7,7 |
| **TOTAL** | 522.595,60 D | 100 | 617.514,01 D | 100 |

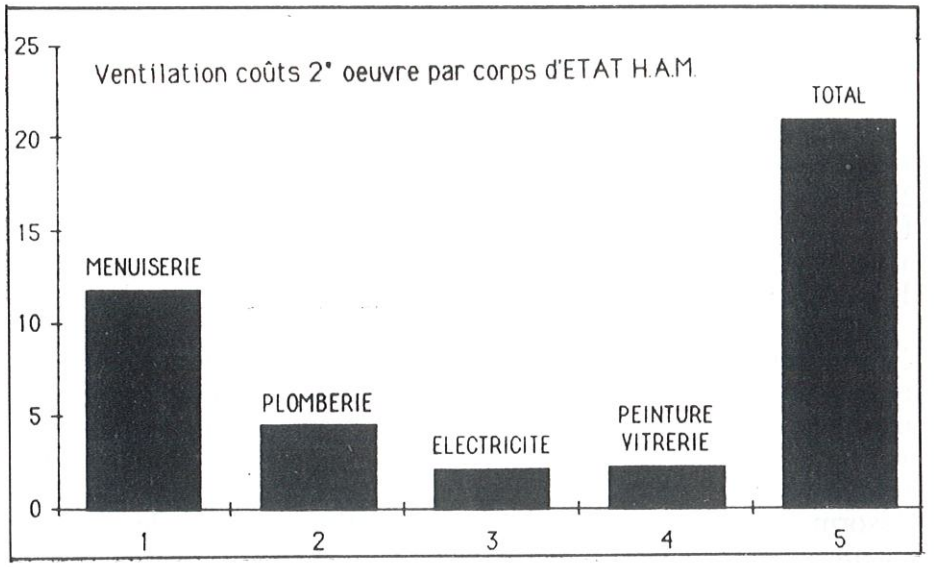



| | MONTANT TTC | % DU MONTANT TOTAL DES TRAVAUX |
|---|---|---|
| MENUISERIE PEINTURE VITRERIE | 38.343,90 D | 6,2 |
| PLOMBERIE | 23.324,40 D | 3,8 |
| ELECTRICITE | 14.820,00 D | 2,4 |
| **TOTAL** | 76.488,30 D | 12,4 |

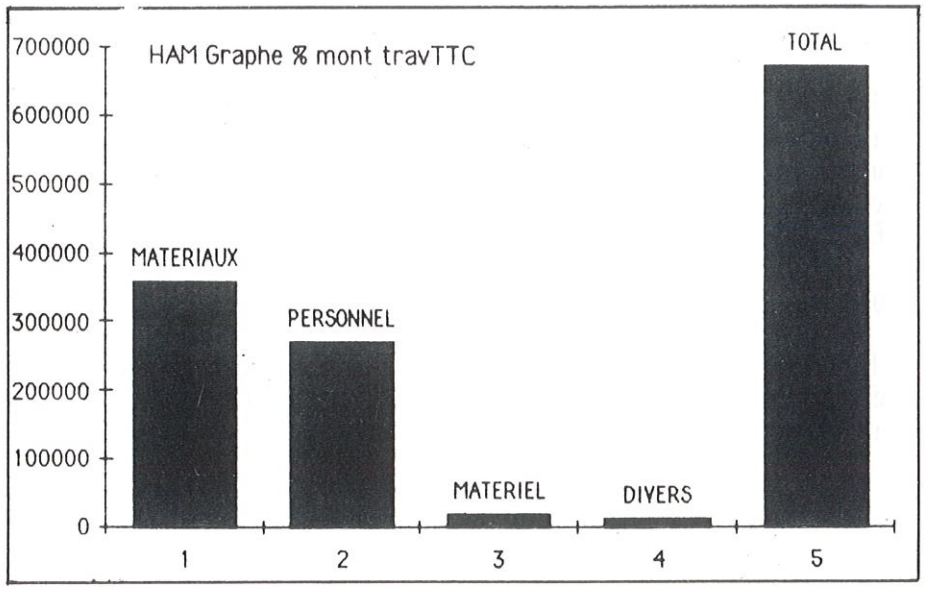





| | MONTANT TTC | % MONTANT TOTAL TRAVAUX |
|---|---|---|
| MENUISERIE | 80.062,20 D | 11,90 % |
| PLOMBERIE | 30.784,60 D | 4,60 % |
| ELECTRICITE | 14.820,00 D | 2,20 % |
| PEINT.VITRERIE | 15.773,21 D | 2,30 % |
| **TOTAL** | 141.440,01 D | 21,00 % |




| | MONTANT HT | % | MONTANT TTC |
|---|---|---|---|
| MATERIAUX | 307.608,14 D | 53,30 | 360.541,97 D |
| PERSONNEL | 234.397,00 D | 40,60 | 273.669,49 D |
| MATERIEL | 20.170,00 D | 3,50 | 22.980,89 D |
| DIVERS | 15.000,00 D | 2,60 | 16.800,00 D |
| **TOTAL** | 577.175,14 D | 100,00 | 673.992,35 D |



Il n'est par ailleurs pas aisé d'apprécier l'effet de la concurrence sur la réduction des coûts. A prix unitaires communs, celle-ci peut néanmoins être cernée à travers les différents rabais pratiqués par les entreprises après étude et établissement de leur offre. L'expérience a montré que ces rabais variaient de 0 à 20 %. Dans le cadre d'une concurrence ouverte et avec l'intérêt qu'a suscité cette opération auprès des différents entrepreneurs de la place il est possible d'envisager un coefficient réducteur de l'ordre de 12 %.

Sur ce chantier de Ait Ourir, l'entreprise a utilisé une presse de type TERSTARAM destinée à produire des blocs pleins de cloisons de 29,5 x 14 x 9 cm. Le coût de cette presse s'est élevé à 35700,00 DH TTC. L'amortissement de la presse est à reprendre en compte dans le bilan de cette opération et pourra l'être au dépouillement des données de rendement et de performances observées sur le chantier.

Une observation concerne les prix unitaires présentés par les entreprises. En effet, aucune évaluation précise n'a pu être faite avant acceptation des offres. Etant donné l'urgence des travaux (le délai prévu de 6 mois était ramené à 4 mois), les marchés ont été signés après des négociations qui à notre sens n'ont pas été assez poussées. Désormais, il nous semble qu'une réduction sensible de ces prix unitaires était possible. A la charge de cela, il convient d'ajouter que les entreprises capables de mener à bien les projets n'étaient pas assez nombreuses et cette situation de quasi monopole jouait en leur faveur, leur donnant trop de latitude spéculative. Par aileurs, les prix unitaires étaient prévus Hors Taxes par les pièces du marché. En réalité la majeure partie des prix pratiqués s'entendent TTC et il devra en être ainsi pour l'avenir de l'opération.

Une autre observation concerne le marché en régie et notamment l'approvisionnement de l'utilisation des "matériaux non consommables" qui n'a pas été optimisée par l'entreprise (par exemple, la surconsommation de madriers et chandelles), de même que les approvisionnements non consommés qui sont restés la propriété de l'entreprise à la fin du chantier et qui auraient une influence à la baisse dans le cas de prix unitaires forfaitaires.

## Conclusions et recommandations pour Ait Ourir

A la date de passtion des marchés (février 1986) et à la lumière des précédentes remarques le coût des 2 logements prototypes de Ait Ourir peut s'établir comme il suit :



**MONTANT TTC**

| | |
|---|---|
| MATERIAUX | 232.644,60 DH |
| PERSONNEL | 156.778,08 DH |
| MATERIEL | 20.400,00 DH |
| DIVERS | 20.000,00 D |
| TOTAL | 429.823,28 DH |
| CONCURRENCE (-12 %) | 51.578,79 DH |
| TOTAL ESTIME | 378.244,49 DH |
| ARRONDI A | 378.250,00 DH |

Le coût du mètre carré construit Hors Oeuvre, à Ait Ourir serait alors de l'ordre de : **1.080,71 DH**

## 2. 2. - OPERATION PROTOTYPES HAY AL MASSIRA TERRE

### aspect financier: analyse et commentaires

La ventilation des montants par corps d'Etat est correcte à l'exception du poste "Menuiserie" qui reste important.

Il est à signaler qu'une majoration supplémentaire du coût de la menuiserie a été évitée aprés modification du plan des différents éléments menuisés. En effet, ceux-ci, trop sophistiqués grévaient les coûts de ce lot de façon non négligeable. Pour l'avenir de l'opération Hay Al Mâssira, il conviendrait de réduire davantage les prestations de ce lot.

Le poste "Personnel" représente un pourcentage (40,6 %) du montant des travaux trop important. La cause en est la nature même du marché passé en régie. En effet, l'entrepreneur n'étant pas limité dans ce domaine, aucune optimisation de sa part n'a été élaborée. Dans le cadre d'un marché au forfait une réduction du poste "Personnel" peut être assurée sans difficulté car l'entrepreneur, dans un souci de rentabilité mettra tout en oeuvre pour réduire les dépenses de ce poste. Un pourcentage de 30, soit une diminution de 10 % nous semble envisageable dans des conditions de concurrence ouverte.

Le poste "Matériel" est par contre réduit à sa plus simple expression. Il ne concerne en effet que le transport des matériaux par camion et l'utilisation d'une bétonnière. Cette option a été délibérée tout au long du chantier car les prix unitaires des différents matériels étaient bien trop élevés pour qu'il y ait pu avoir une liberté d'utilisation.

Il n'est par ailleurs pas aisé d'apprécier sur ce chantier, comme sur celui de Ait Ourir, l'effet de la concurrence. Néanmoins on peut là encore se baser sur la pratique courante des rabais d'entreprises aprés étude et établissement de leur offre qui vont, par expérience, de 0 à 20 %. Là encore, une moyenne de rabais de 12 %, compte tenu de l'intérêt de cette opération auprès des entreprises de la place nous semble tout à fait possible.

En ce qui concerne le choix des blocs de terre vibro-compactée de 20 x 20 x 40 cm (type filière SBBM) nous voulons rappeler ici la réticence de notre bureau d'études. En effet, leur utilisation sur le prototype 1 n'est pas apparu convaincante au plan économique, leur coût étant de l'ordre de 3,60 DH l'unité. On a donc pu calculer une plus value induite de l'ordre de 20 000 DH et cela sans amortir complètement l'importance du déchet du à l'inégalité de leur qualité et à l'important rebus de casse au transport.



L'utilisation du bloc de terre plein type PACT 500 de 29,5 x 14 x 10 cm sur les deux prototype n'aurait eu aucune incidence financière négative et même plutôt positive en réduisant le coût d'amortissement de la machine. La location de la presse PACT 500 pour la fourniture des blocs du seul prototype 2 s'est élevé forfaitairement à 10000 DH, ramenant ainsi le coût des blocs 29,5 x 14 x 10 cm à environ 1,05 DH l'unité. Quoiqu'il en soit ce sont là des coûts qui avaient été calculés avec l'étude d'évaluation technico-économioque réalisée par le CRATerre et les résultats réels sont donc sans surprise car correspondant. Il est donc raisonable d'être optimiste sur une possibilité d'un abaissement de ces coûts du bloc dans le cadre d'une filière terre locale "rodée" et faisant jouer la concurrence.

Une observation concerne les prix unitaires du marché présentés par les entreprises. Aucune évaluation précise n'avait pu être faite avant l'acceptation des offres et l'urgence des travaux n'avait pas permis de prolonger les négociations, cela au détriment d'un abaissement possible de ces prix unitaires. Par ailleurs le manque de concurrence sur ces petits marchés prototypes (2 x 2 logements) a donné trop de latitude spéculative aux seules entreprises adjudicataires. Là encore, les prix unitaires étaient prévus Hors Taxes par les pièces du marché alors que les prix pratiqués en réalité s'entendent en majeure partie Toutes Taxes Comprises. Cela devra être spécifié à l'avenir de l'opération.

On retrouve par ailleurs sur ce chantier de Hay Al Massira un manque d'optimisation du poste "matériaux non consommables" ainsi qu'un manque de décompte précis des matériaux non consommés qui sont restés la propriété des entreprises à la fin des chantiers. Ces postes sont assez importants pour avoir une influence à la baisse sur les prix unitaires forfaitaires.

### Conclusions et recommandations

A la date de passation des marchés et à la lumière des précédentes remarques le coût des 2 logements prototypes de Hay Al Massira peut s'établir comme il suit:
-les montants du marché deviennent TTC,
-le poste "Matériaux" est réduit du fait d'une part du surcoût des blocs 20 x 20 x 40 cm (évalué à 20000,00 DH) et d'autre part des approvisionnements restant et des prix unitaires élevés (-10 %),
-le poste "Personnel" constitue 30 % du montant total du marché

## MONTANT TTC

| | |
|---|---|
| MATERIAUX | 258.847,33 DH |
| PERSONNEL | 173.152,54 DH |
| MATERIEL | 20.170,00 DH |
| DIVERS | 15.000,00 DH |
| TOTAL | 467.169,87 DH |
| CONCURRENCE (-12 %) | 56.060,38 DH |
| TOTAL ESTIME | 411.109,49 DH |
| ARRONDI A | 411.000,00 DH |

Le coût du mètre carré construit Hors Oeuvre pour les Prototypes de Hay Al Massira serait de l'ordre de: **1230,53 DH**

Avec un coût du prototype 1 (gros blocs 20 x 20 x 40 cm) de : 223958,08 DH
et du prototype 2 (blocs 29,5 x 14 x 10 cm) de : 187041,92 DH

Il s'agit encore d'un coût relativement élevé par rapport aux coûts d'objectif qui se situent à hauteur de + ou - 1000,00 DH /m2 H.O., soit une réduction de l'ordre de 20 % qu'il conviendra de trouver en phase finale de l'opération. Cette réduction peut être trouvée en agissant sur les points suivants:
-diminution de la superficie des logements mais plus directement des développés et hauteurs de murs (révision de la conception),
-diminution du coût de la menuiserie,
-diminution du coût des prestations d'équipements (cuisine, salle d'eau et placards chambres).



# LES PREMIERS ENSEIGNEMENTS DE L'OPERATION

## 1- LES APPORTS DE L'OPERATION

### L'institution d'un débat national: l'avenir en marche de la construction en terre au Maroc.

La Rexcoop-Terre s'est avérée être particulièrement motrice en ce qui concerne la mise en place d'une filière terre au plan local de Marrakech tout en catalysant une dynamique de réalisations au plan national. L'opération a contribué à nourrir un débat national sur l'actualisation, la modernité et l'avenir d'une nouvelle construction en terre marocaine, en mobilisant les administrations et institutions nationales (Ministère de l'Habitat, Ministère de l'Intérieur, Ministère des Travaux Publics, Ministère de la Culture, du Tourisme) leurs principales directions (Directions du Contrôle Technique de la Construction, Direction de l'Architecture) et plus largement l'ensemble des opérateurs de l'acte de bâtir (promoteurs et financiers, maîtres d'ouvrage et maîtres d'oeuvre, bureaux d'études et de contrôle, laboratoires d'études et d'essais, entreprises.

Le séminaire international sur "la construction en matériaux locaux", organisé en avril 1986 sous la tutelle du Ministère de l'Habitat, autour de la Rexcoop-Terre, bien que débordant plus largement sur l'ensemble des matériaux locaux, confirmait la volonté des pouvoirs publics marocains d'appuyer le développement de ces nouvelles technologies "locales". Ce séminaire esquissait les voies de ce développement et les établissait sur les bases suivantes :

-dynamiser l'économie nationale, régionale et locale en appuyant la réalisation de programmes d'habitat en matériaux locaux,

-constituer un savoir spécifique sur tous les matériaux locaux, leurs modes de production et leurs applications à l'habitat,

-produire à brève échéance des recueils de recommandations d'aide à la production des matériaux, d'aide à la conception des ouvrages et à leur mise en oeuvre ainsi que tous documents techniques permettant de légitimer les pratiques des différents opérateurs de la construction,

-accentuer l'effort de formation sur les matériaux locaux et leur application à la production d'un habitat économique, dans les universités et instituts, dans les écoles d'architecture et d'ingénieurs, dans les lycées techniques et les centres de formation professionnelle,
-accentuer l'effort d'expérimentation et de réalisation d'opérations pilotes et associer à cet effort une formation pratique des intervenants,

-accélérer l'institutionnalisation d'un Centre Technique du Bâtiment et la création, en son sein, d'un département d'études sur les matériaux locaux.

Aujourd'hui, dans la mouvance de la Rexcoop-Terre, la motivation et la mobilisation des administrations, institutions et opérateurs techniques de la construction est tout à fait patente. En témoignent les nombreuses réalisations en terre et autres matériaux locaux qui ont été faites et qui sont en cours de l'être. L'opération de Tan-Tan (500 logements sociaux autour d'un centre de vie et d'un équipement industriel), lancée par un promoteur-constructeur privé (Omnium Marocain de Pêche), l'opération "Bni Darek" lancée par le Ministère de l'Habitat qui concerne la réalisation de logements de fonction, d'écoles et de logements sociaux, en terre, dans les 11 provinces du Sud, le Centre de Formation aux Métiers de Montagne de Tabannt (Province d'Azilal), en pisé, un centre d'équipement touristique et hôtelier à Marrakech, et la multiplication des projets de résidences privées, attestent de cette nouvelle dynamique marocaine en faveur d'un avenir de la construction en terre qui est déjà en marche (voir chapitre monographies de projets).

## Une démonstration technique et architecturale

L'achèvement de la phase prototype aura apporté une bonne démonstration technique et architecturale qui s'accorde avec les objectifs initialement posés par le programme. Ces résultats contribuent à atténuer les défiances et les réticences d'ordre psycho-sociologiques qui étaient posées au départ par la grande majorité des opérateurs de l'acte de bâtir marocains vis à vis de la qualité du matériau terre et d'un possible avenir de la construction en terre associé à une nouvelle image de modernité qui était encore contestée durant le chantier, avant l'achèvement des prototypes. Les résultats techniques et architecturaux les plus probants sont les suivants:

Sur la faisabilité des filières techniques:

-La faisabilité de la filière blocs de terre comprimée du type PACT 500, ou similaire, avec une confirmation de l'intérêt de ce type de mode de production décentralisé organisé autour de petites machines peu consommatrices d'énergie et facilement transportables. La qualité des produits (blocs pleins aux dimensions classiques de 29,5 x 14 x 9) avec des résultats d'essais et d'emploi sur les chantiers qui permettent d'envisager l'obtention d'un agrément sur ce type de produit. Par contre, l'opération confirme que des progrès importants doivent être faits en ce qui concerne la filière blocs de terre creux vibro-compactés, sur la régularité de qualité des produits et sur



l'assurance d'une réduction sensible de la casse au transport et à la manipulation sur chantier. Le choix des terres, les pratiques de stabilisation, le fonctionnement des outils associés à cette filière de production par vibro-compactage sont autant de points qui doivent être revus et améliorés pour garantir l'intérêt de cette filière.

-La faisabilité de la filière pisé mais sous réserve d'une réelle modernisation des techniques de production et de mise en oeuvre (banches plus rigides, de type grimpant, dimensions modulaires adaptées à une construction par panneaux trumeaux, damage par fouloir pneumatique). Les outils traditionnels, s'ils demeurent adaptés à une production artisanale organisée autour du travail du "maâlem", ne sont pas adaptés aux exigences de rentabilisation des coûts d'éxécution (personnel de chantier notamment) dans le cadre d'un chantier du secteur de la construction formelle organisée autour de la structure d'entreprise.

-On regrettera que cette opération n'ait pas permis de redémontrer la faisabilité d'une filière adobe modernisée. L'opération Ait Ourir aurait pu servir de support à une tentative de modernisation, à petite échelle, de la filière adobe, qui selon les résultats d'analyse des terres locales et en rapport avec les pratiques traditionnelles du lieu et le type de produit architectural ciblé semblait plus appropriée. Ce sentiment est également partagé par certains des partenaires techniques de l'opération (L.P.E.E. p.e.).

Sur les aspects plus techniques:

La validité technique des dispositions architecturales et constructives des projets prototype avec notamment :

-la prédominance qu'il convient d'accorder au respect des règles de l'art d'une conception architecturale adaptée au matériau terre: protection du bas et du haut du mur, protection de quelques éléments fragiles (tableaux de baies, angles saillants p.e.),

-des dispositions constructives innovantes (par rapport aux dispositions traditionnelles utilisée dans la construction en matériaux conventionnels) telles que: fondations en béton cyclopéen pour ouvrages en terre en plain-pied et R + 1, dosé à 250 kg et 170 kg / m 3 , des chaînages inférieurs en B.A. conçus sur des méthodes de calcul moins sévères (réduction des sections de béton et d'acier), des chaînages de planchers en B.A. avec réduction des sections d'acier et appui sur les 2/3 minimum de l'épaisseur du mur et habillage extérieur en blocs de terre posés sur chant, des murs porteurs en blocs de terre de 30 cm d'épaisseur et en pisé sans raidisseurs verticaux, l'emploi de la terre en ouvrages horizontaux avec des planchers à voûtains en

blocs de terre ou à voûtains en plâtre armé de filasse, des solutions d'étancheité avec une réhabilitation des techniques traditionnelles du dess et du taddelakt marocains, des enduits intérieurs au plâtre ou au taddelakt (pièces humides) appliqués sur une dressage en terre tamisée stabilisée à la chaux, diverses solutions de finition du second oeuvre pour les équipements électriques, de plomberie et sanitaires.

L'ensemble de cet acquis technique et architectural de l'opération Rexcoop-Terre de Marrakech et Ait Ourir ouvre la voie d'une réelle actualisation et modernisation de la construction en terre au Maroc que cautionnent déjà la mise en place de procédures de suivi et de contrôle rationnel des chantiers qui résultent d'un travail commun et d'un accord de l'ensemble des partenaires techniques et institutionnels ayant participé à l'opération ainsi que la perspective d'obtention d'agréments sur les produits et dispositions constructives utilisés pour lesquels l'Administration marocaine (DCTC-CTB) a confirmé plusieurs fois son intérêt (communications faites au séminaire d'avril 1986 notamment).

## Le rôle essentiel du maître d'ouvrage

Dans cette opération, le rôle du maître d'ouvrage, en l'occurence l'ERAC-Tensift, apparaît essentiel. En effet, celui-ci apporte une contribution majeure. Tout d'abord en ayant manifesté l'ambition et pris le risque d'une actualisation de la construction en terre dans le secteur organisé de la construction. Pour cela, l'ERAC-Tensift a du faire preuve d'une capacité d'innovation permanente, notamment face au vide des procédures règlementaires, techniques et administratives. La procédure de réalisation d'une opération pilote expérimentale en deux étapes qui a été imaginée par le maître d'ouvrage dans le cadre de la Rexcoop-Terre est tout à fait innovante. Elle a permis de définir et de tester des procédures techniques et administratives adaptées à une nouvelle filière terre locale, tout en offrant la possibilité de pouvoir corriger des dérives technico-économiques difficilement évitables en phase expérimentale. Cette première phase constitue véritablement une étape de recherche appliquée qui est certes comptable en équivalent de travail et d'investissement financier mais sans laquelle la réalisation du programme et même l'avenir de la construction en terre en secteur formel, au Maroc, auraient été sans doute compromis. Les bilans, corrections et enseignements issus de cette première phase permettent d'envisager des opérations à caractère commercial pouvant s'appuyer sur des bases techniques, administratives, économiques et juridiques qui faisaient jusqu'alors défaut et sans lesquelles il serait utopique de croire à une rentabilisation indispensable. Il est désormais possible d'intégrer des procédures de maîtrise d'ouvrage plus classiques tout en exploitant une démarche spécifique organisée autour d'une expérience acquise, de pièces écrites originales et exemplaires (CPS et



CPT) utiles au lancement de marchés de construction en terre. La volonté de l'ERAC-Tensift et l'expérience qu'elle a cristallisé autour de la Rexcoop-Terre apparaîtront décisif.

## Le rôle central de la maîtrise d'oeuvre

L'expérience confirme le rôle central du maître d'oeuvre notamment au stade de la conception architecturale spécifiquement adaptée au matériau terre et plus largement au plan de la maîtrise du processus de production globale du projet incluant le contrôle rigoureux de l'exécution des travaux. Ce rôle est capital dans la coordination des relations avec le bureau d'études, les organismes du contrôle technique et de qualité et les entreprises. Il apparaît indispensable de laisser une grande latitude de contrôle au maître d'oeuvre et de veiller à ne pas favoriser l'éclatement de sa tâche sur des relais trop spécialisés et sectoriels qui, s'ils peuvent être justifiés par la haute technicité d'autres filières de construction, le sont moins dans un domaine où les savoir-faire et les règles de l'art priment. L'éclatement de la maîtrise d'oeuvre, rendu nécessaire par la complexité technique et par l'imposition des procédures opérationnelles conventionnelles, est inévitablement, en matière de construction en matériaux locaux, un facteur de surcoût. Il paraît souhaitable de s'orienter vers une maîtrise d'oeuvre trés spécialisée capable d'assumer -par sa compétence reconnue, issue d'une formation spécialisée et d'une expérience acquise sur le terrain des réalisations- toute la dimension de sa tâche de conception et de contrôle technique de la conception architecturale, de la production des matériaux et du suivi des travaux.

## L'indispensable adaptation structurelle de l'entreprise

Dans le processus d'actualisation de la construction en terre dans le secteur organisé de la construction, l'entreprise constitue un facteur d'innovation dont l'importance est capitale. L'opération montre que l'on doit se poser la question d'une adaptation structurelle et d'un nécessaire investissement en matière grise et en matériel. D'une part, une dotation en personnels compétents, spécifiquement formés aux nouvelles pratiques de la construction en terre et d'autre part, une dotation en moyens financiers qui permet un investissement en matériel de production (presses, banches, fouloirs, grue, engins, etc.) adaptés à une réelle modernisation de la filière.Sans mobiliser ces moyens, il semble impossible de garantir une qualité d'exécution répondant aux exigences actuelles du marché de la construction et une réelle compétitivité dans le secteur de la construction organisée où l'entreprise traditionnelle, structurée autour du savoir-faire du "maâlem" n'est plus adaptée. L'entreprise de construction en terre doit être elle aussi trés spécialisée et utiliser des méthodes de chantier spécifiques à la filière terre.

La phase prototype a permis aux entreprises de s'interroger sur cette nécessité d'une actualisation de leurs pratiques opérationnelles pour pouvoir prétendre se positionner sur un réel marché viable capable de leur offrir de réelles perspectives de développement.

**Vers la création d'un langage technique commun de référence** :

Préfiguration de l'agrément : les premiers documents provisoires de recommandations et spécifications techniques fournis et élaborés dans le cadre de l'opération.

En l'absence de textes normatifs et d'agrément, l'ERAC-Tensift a du s'efforcer de vaincre les obstacles opposés au renouveau d'emploi du matériau terre, obstacles psychologiques, techniques et administratifs. Pour ce faire, l'ERAC a été épaulé par les partenaires français de l'opération (REXCOOP, CRATerre) qui ont fourni et produit, dans le cadre de leur mission d'assistance technique, des documents faisant office de spécifications provisoires pour la production des matériaux, de spécifications concernant les dispositions constructives et leurs modes de mise en oeuvre. Ces documents ont été soumis à l'appréciation des partenaires marocains (DCTC-CTB, LPEE, Promoconsult, ERAC, GAITerre), avec lesquels ils ont été discuté avant de faire l'objet d'un consensus. Sur ces bases, les partenaires administratifs et techniques ont pu contrôler la qualité des matériaux de construction et des dispositions constructives des projets. Sur ces mêmes bases, le bureau d'études Promoconsult, chargé du lancement et du suivi technique des chantiers a rédigé les Cahiers de Prescriptions Techniques et les Cahiers de Prescriptions Spéciales (CPT et CPT) spécifiques aux opérations de Marrakech permettant de constituer un dossier d'appel d'offres en bonne et dûe forme. Cet ensemble de documents de base constituant des recommandations et spécifications techniques et administratives provisoires, en l'abscence de normes ou d'agrément (voir références détaillées en bibliographie) :

-Recommandations pour la conception des bâtiments du quartier expérimental de l'Isle d'Abeau, (CRATerre-AGRA) : ce document a été réalisé à la demande du Plan Construction et Habitat (Paris), dans le cadre de l'opération pilote de construction de 65 logements HLM en terre de l'Isle d'Abeau. Il fournit, en l'absence de normes françaises spécifiques, les éléments techniques concernant les nouvelles filières de construction en terre, les techniques et les modes de production des matériaux, un cahier des charges permettant de contrôler la qualité des matériaux, une appréciation des coûts de production et de construction sur la base d'une synthèse d'études de cas de projets récents et tout un ensemble de dispositions constructives à l'usage des maîtres d'oeuvre



leur permettant de concevoir leurs projets en fonction des spécificités du matériau terre.

-Marrakech 83, Habitat en Terre, Aide à la Conception Architecturale d'un projet d'opération expérimentale en terre à Marrakech, (CRATerre-GAITerre, MHAT/ERAC-Tensift, REXCOOP) : Il s'agit d'un document original entièrement conçu et réalisé dans le cadre du lancement de la Rexcoop-Terre de Marrakech qui développe une approche de la maîtrise du projet d'architecture de terre à travers la connaissance des phénomènes pathologiques classiques . Cette pathologie, observée à l'occasion d'une mission dans le sud marocain, est clairement décrite et illustrée de croquis et de photographies, chacun des problèmes présentés appellant une solution en terme de conception architecturale adaptée au matériau terre. Par ailleurs, le document présente chacune des filières terre (pisé, bloc comprimé, adobe) qui semblent être adaptées au projet lancé par l'ERAC-Tensift.

-Marrakech 84, Habitat en Terre, Cahier des Spécifications Techniques pour la Fabrication des Matériaux de Construction en Terre, (CRATerre) : Il s'agit d'un document fondamentalement technique qui fournit les spécifications et recommandations de prospection et d'identification des sites de carrières de terre, les procédures d'études, d'analyses et d'essais sur les matériaux correspondant à chacune des filières de production retenues dans le cadre de l'opération de Marrakech, ainsi qu'un cahier des charges de contrôle et de suivi de la qualité de production .

-Rapport de la DCTC-CTB sur les 4 prototypes d'Hay Al Massira et d'Ait Ourir, dans le cadre de l'opération Rexcoop-Terre de Marrakech : il s'agit d'un document établissant le bilan technique de la phase de réalisations des prototypes, qui s'attache, sur le plan des constructions elles-mêmes, à exposer les points sur lesquels les prototypes présentent des innovations intéresantes, à recenser les méthodes constructives et/ou les ouvrages pour lesquels il semble que l'on n'ait pas atteint la maîtrise et la maturité technologique souhaitables. Sur un plan plus général, ce document expose quelques réflexions sur l'avenir de la construction en terre au Maroc en extrapolant à partir des prototypes réalisés.

-Construire en Terre, (CRATerre) : ouvrage technique de base qui passe en revue les différentes filières terre traditionnelles et modernes et qui fournit les spécifications de production des matériaux (procédures d'études, d'analyses et d'essais sur les sols et les matériaux ), de leur mise en oeuvre et concernant les procédés de stabilisation classique. Abondamment illustré d'exemples et d'applications.

-Identification des sols des sites Massira-Koutoubia et Ait Ourir, rapport préléminaire, (L.P.E.E.) : document faisant état de la mission du laboratoire régional de Marrakech du L.P.E.E.concernant la prospection et l'identification des carrières pour les projets de l'ERAC-Tensift. Compte-rendu d'essais de laboratoire annexé des diagrammes et tableaux correspondant (courbe granulométrisue, Proctor, limites d'Atterberg et compactibilité.

-Massira Terre, rapport complémentaire, (L.P.E.E.) : complément d'analyse sur les terres du site de Hay al Massira avec une caractérisation physique et une analyse chimique.

-Opération Hay Al Massira terre, Blocs de terre comprimée, pleins, stabilisés au ciment, (L.P.E.E.) : note définissant un protocole d'études et d'essais sur la convenance des terres et le contrôle de qualité des blocs de terre comprimée stabilisée pour le projet de Hay Al Massira. Caractérisation d'un échantillonage prélevé sur la première production de blocs.

-ERAC-Tensift, Opération Hay Al Massira Terre, Blocs de Terre comprimés pleins stabilisés, (L.P..E.E.) : compte-rendu des résultats des essais de laboratoire réalisés au cours de la phase expérimentale de fabrication des blocs comprimés pleins stabilisés programmée dans le cadre de l'opération Hay Al Massira.

-ERAC-Tensift, Opération Ait Ourir Terre, (L.P.E.E.) : compte-rendu de prospection, d'identification et d'étude de terres prélevées dans le voisinage du site de Ait Ourir, destinées à être utilisées sous forme de pisé. Caractérisation par les limites d'Atterberg et le Proctor.

-ERAC-Tensift, Massira-Terre, Note récapitulative, (L.P.E.E.) : bilan synthétique des études, analyses et essais sur les terres et les blocs comprimés utilisés sur le projet Hay Al Massira, commentaires sur les effets de la stabilisation, sur les résultats en résistance à la compression sèche et humide.

-Opération Hay Al Massira Terre, construction de 20 logements, CPS et CPT, (Promoconsult) : document destiné au lancement des appels d'offres sur le marché de Hay Al Massira présentant les prescriptions techniques sur les dispositions constructives et la mise en oeuvre des maçonneries en blocs de terre comprimée.

-Opération Ait Ourir-Terre, construction de 24 logements, CPS et CPT, (Promoconsult) : document destiné au lancement des appels d'offres sur le marché de Ait Ourir présentant les prescriptions techniques sur les dispositions constructives et la mise en oeuvre des maçonneries en pisé.



L'ensemble de ces documents établis à l'occasion de la Rexcoop-Terre de Marrakech constitue un fonds documentaire important et confirme le haut degré d'investissement des partenaires administratifs et techniques. Ainsi, on doit accorder au crédit de cette opération, l'initiation et le développement d'une longue procédure de règlementation et de normalisation de la construction en terre au Maroc. C'est en effet sur ces bases qu'a pu être engagée une procédure d'agrément qui va désormais permettre un contrôle et un suivi rationnel des nouvelles opérations de construction en terre et une légitimation technique et administrative progressive des pratiques de conception et d'exécution des projets de construction en terre.

Mais, il demeure indispensable de bien évaluer ici la forme et le contenu de ce langage technique de référence naissant, justement parce qu'il constitue la première référence à caractère pré-normatif pour les opérateurs de l'acte de bâtir. Ce nouveau langage technique doit contribuer à appuyer toutes les potentialités révélées d'un renouveau de la construction en terre et garantir les perspectives de développement technologique d'une filière terre marocaine. Il apparaît ainsi capital d'adopter des contenus et des mises en forme totalement spécifiques à la filière terre et surtout pas inspirés d'autres filières dont les exigences sont le plus souvent surdimensionnées et qui, appliquées par analogie à la construction en terre risqueraient bien d'être rédhibitoires. Il est indispensable de s'orienter vers des recommandations de production des matériaux et de leur mise en oeuvre, à des fins architecturales correctement ciblées (habitat économique et social de qualité pour le plus grand nombre) qui s'appuient fondamentalement sur la maîtrise des règles de l'art de la bonne conception architecturale et de la bonne exécution spécifiques à l'emploi de la terre en construction.

## 2- LES LIMITES DE L'OPERATION

### L'obligation de clarté de définition des objectifs

Relancer la filière terre dans le secteur formel de la construction organisée où dominent des pratiques de construction normalisées employant des matériaux conventionnels (béton, blocs de béton) est un objectif ambitieux. En effet, même si la construction en terre fait partie du patrimoine national d'un pays, et c'est le cas du Maroc, sa non-intégration dans les circuits organisés de l'économie de la construction et la volonté de l'y intégrer la désignent comme une filière qui relève du domaine de l'innovation. A ce titre, la réactualisation de la construction en terre se heurte à de nombreux obstacles, cela dès l'initiation du projet expérimental pilote qui est le vecteur de cette intégration.La Rexcoop-Terre de Marrakech s'est vue opposer ces obstacles qui sont de plusieurs ordres:

-d'ordre psycho-sociologique: le matériau terre pâtit d'une connotation d'archaïsme technologique étant directement associé, dans les mentalités des décideurs, techniciens de la construction et même de la population à un passé révolu. Il ne correspond pas aux aspirations ni aux idées de la modernité vers laquelle tend la population. L'enjeu du projet-pilote "Marrakech Habitat en Terre" est donc de faire une démonstration éloquente sur le plan technique et architectural afin de contourner cette mauvaise image mentale du matériau.Cet enjeu sollicite directement la qualité de conception et d'exécution du projet, en bref, la compétence des opérateurs techniques (maîtres d'oeuvre et entrepreneurs notamment) mais également l'actualisation des techniques, une démonstration patente de modernité de la construction en terre.

-d'ordre technique et administratif: l'absence de textes normatif règlementant d'une part les pratiques de conception du projet d'architecture de terre et d'exécution du chantier, et d'autre part des procédures de contrôle de qualité des matériaux et leurs modes de mise en oeuvre constitue un obstacle important. Ce vide règlementaire s'oppose à une légitimation des pratiques et des procédures techniques et administratives qui concernent l'ensemble des opérateurs de l'acte de bâtir en secteur formel, à savoir, le maître d'ouvrage, les maîtres d'oeuvre, les bureaux d'études, les entreprises, les administrations du contrôle technique de la construction, les laboratoires agréés pour le contrôle de la qualité des matériaux, les organismes de promotion immobilière et d'assurance. La Rexcoop-Terre se pose ainsi en



programme pionnier dont le rôle est de contribuer à initier la mise en forme de procédures de suivi et de contrôle rationnel de la construction en terre dans le domaine de la construction organisée. Il s'agit là d'un enjeu de taille qui sollicite directement l'aval et l'implication des administrations du contrôle technique de la construction.

-d'ordre économique: la nouvelle filière terre se heurte à l'absence de références économiques en ce qui concerne les coûts de production des matériaux et d'exécution des chantiers. Cette situation est notamment défavorable à l'investissement requis auprés des entreprises locales qui auront tendance, dans le cadre d'un appel d'offres, à surévaluer leurs propositions afin de prendre des garanties financières. En retour, cette surévaluation ne permettra pas au maître d'ouvrage d'accepter la proposition et l'appel d'offres sera infructueux. La Rexcoop-Terre est donc une opération test qui permettra, dans un cas de figure précis (programme architectural particulier et contexte d'exécution situé), d'apporter des éléments d'évaluation des coûts pouvant, au-delà de l'expérimentation, si celle-ci est concluante, favoriser une adhésion des maîtres d'ouvrage et des entreprises sur la base de références économiques communes.

Cette contrainte d'ordre économique est d'une importance majeure et il convient de trouver des procédures adaptées permettant, si ce n'est de la contourner au moins de l'atténuer.

La première action qui s'impose est la réalisation d'une étude de faisabilité technico-économique qui est destinée à situer et à évaluer des coûts de production des matériaux selon différentes filières techniques (pisé, bloc de terre comprimée, adobe) et des coûts d'exécution de dispositions architecturales et constructives type (systèmes de murs, de planchers, de toitures, par exemple). Dans le cadre de la Rexcoop-Terre, on peut ici regretter que cette étude n'ait pas été réalisée dès le stade amont de définition du programme architectural et du programme d'expérimentation. Cette étude qui n'a été finalement faite qu'au-delà de la phase d'avant-projet sommaire apportait des conclusions capitales pour mieux cibler le choix des filières techniques de construction (impact des modes de production des blocs de terre comprimée, du transport du matériau et de la stabilisation sur les coûts du matériau) et les choix conception architecturale des projets (dimensionnement des sytèmes de murs et finition intérieure et extérieure par enduissage, par exemple). La réalisation amont de l'étude de faisabilité aurait notamment permit de mieux cibler le cahier des charges de recherche expérimentale qui apparaît, à l'issue de la phase prototype, comme beaucoup trop ambitieux. On peut en effet ici remettre en question une obligation d'expérimentation technique trop large imposée par le cahier des charges du projet, qui embrassait tout à la fois les systèmes de toitures

et planchers (structure et étanchéité), la protection de surface, l'accessibilité et la faisabilité technique et économique. Il aurait été plus raisonnable de se limiter à l'obligation de modernisation des filières de production (emploi de presses à blocs de terre comprimée, mécanisation du pisé) et à l'obligation de conception architecturale adaptée aux contraintes spécifiques du matériau terre tout en maintenant la volonté d'une démonstration économique (accessibilité) qui aurait du s'appuyer sur une meilleure définition du programme architectural en ne ciblant que des réalisations de type "standing" et "économique".

La deuxième action qui s'impose, pour atténuer la contrainte économique, est l'aménagement de la procédure de lancement des marchés. En effet la taille trop importante du marché, ajoutée d'une expérimentation trés lourde, rebutaient les entreprises.Fort heureusement, la réalisation de l'opération Rexcoop-Terre a pu être scindée en deux étapes et le maître d'ouvrage a adopté le principe de l'exécution d'une phase prototype sur appel d'offres restreint, dans un premier temps, avant d'envisager un deuxième marché ouvert sur la totalité du marché restant, dans un deuxième temps. On ne peut aujourd'hui que reconnaître l'intérêt de cette procédure administrative et technique innovante qui a permis de réaliser une expérimentation positive et profitable à l'ensemble des parties sollicitées par le projet grâce aux enseignements qu'elle a fournis.

Il apparaît donc fondamental, au début d'une opération expérimentale pilote associée à des enjeux techniques et économiques importants, d'adopter la plus grande clarté dans les objectifs poursuivis. Cette obligation doit être validée par une juste définition du programme architectural et du programme d'expérimentation qui puisse, d'une part réellement susciter l'adhésion des opérateurs sollicités et non, au contraire, freiner leurs motivations par la demesure des ambitions qui sont posées à la base et d'autre part, contribuer à garantir l'accès aux résultats exemplaires attendus au plan technique et économique. Il apparaît d'une importance majeure de ne pas engager une telle opération sans, a priori, avoir réalisé une étude de faisabilité technico-écconomique permettant de mieux cibler les charges du programme et les modalités de son exécution.

## Quelques interrogations

### L'obligation d'aménagement des procédures courantes

Dans le cadre d'une relance de la construction en matériaux locaux (le cas présent de la construction en terre) avec l'ambition d'une intégration dans les circuits techniques et économiques de la construction organisée, des difficultés majeures doivent être



surmontées qui s'opposent à l'établissement de relations professionnelles basées sur la confiance réciproque des opérateurs et à une coordination des rôles de ces différents opérateurs. Pour les opérations en matériaux conventionnels les procédures de conception, d'exécution, de contrôle et de suivi se réfèrent à des textes techniques et administratifs et à des pratiques opérationnelles rodées, qui codifient les relations sur la base d'un langage commun de référence. Pour la construction en terre, qui n'est pas intégrée aux circuits de la construction organisée, le vide règlementaire, les procédures d'appel d'offres en vigueur, la sectorisation des rôles techniques, agissent comme un frein puissant et s'opposent a priori à cet établissement d'un climat de confiance réciproque et à cette coordination indispensable des rôles. Cela a été trés clairement confirmé lorsque le maître d'ouvrage de l'opération a voulu lancer un appel d'offres séparé et largement ouvert concernant la production des matériaux. L'appel d'offres fut infructueux, en partie à cause de garanties importantes prises par les entreprises vis à vis d'un cahier des charges de production qui leur semblait trop lourd et qui n'avait pas l'aval officiel des organismes d'assurance et du contrôle technique de la construction mais surtout, à notre sens, du fait d'un manque d'aménagement des relations entre le maître d'ouvrage, les producteurs de matériaux potentiels (entrepreneurs) et les bureaux d'études et laboratoires chargés de contrôler cet appel d'offres et la qualité des propositions. En ce qui concerne le lancement d'un appel d'offres couvrant la globalité du marché de l'opération (ou son fractionnement en trois tranches distinctes de 20 logements correspondant à chacun des trois sites prévus), le maître d'ouvrage après avoir souhaité rester dans le cadre des pratiques usuelles, a du se rendre à l'évidence d'une impossibilité d'adopter la procédure courante du marché ouvert. En effet, l'absence de textes techniques et administratifs (CPS et CPT notamment), l'absence de références de coûts spécifiques à la filière terre, ne permettaient pas d'établir un dossier d'appel d'offres en bonne et dûe forme (par similitude aux matériaux et techniques de construction conventionnels) et contribuait à freiner l'investissement des entreprises qui, bien qu'intéressées pour certaines, ne voulaient pas prendre de risques inconsidérés.

Devant cette situation de blocage difficilement contournable et sous risque de devoir arrêter l'opération et de perdre tout l'investissement déjà réalisé, le maître d'ouvrage a du envisager un aménagement des procédures. Il a donc décidé de fractionner l'opération en deux étapes, avec d'une part une premier marché prototype expérimental couvrant environ 10 % du marché global et s'adressant aux entreprises les plus motivées dans le cadre d'un appel d'offres restreint, puis une fois cette phase achevée un appel d'offres largement ouvert couvrant les 90 % du marché restant. Dans le secteur organisée de la construction, cette procédure doit être considérée comme réellement innovante. De plus,

la procédure a été adoptée sur la base d'un accord de l'ensemble des partenaires impliqués dans l'opération, y compris l'administration du contôle technique de la construction, ce qui contribuait à établir les bases d'une relation de confiance entre les opérateurs. Par ailleurs, l'ensemble des opérateurs, tacitement, s'accordaient sur le fait que ce premier marché prototypes devait laisser place à la recherche appliquée, acceptant ainsi les inévitables tâtonnements de l'expérimentation. Ce n'est qu'à partir de ce moment que l'opération a pris un tournant décisif et a permis l'établissement d'une véritable coordination des relations professionnelles entre les différents opérateurs.

L'importance qu'il convient d'accorder à la formation initiale

Comme l'on s'interrogeait sur la nécessité de poser clairement les objectifs d'une opération expérimentale, en cernant les limites du possible des ambitions poursuivies, et sur la nécessité d'un aménagement des procédures d'exécution conventionnelles, on est amené à s'interroger également sur l'importance qu'il convient d'accorder à l'information et à la formation des hommes. En effet, cet aspect, au-delà de l'expérience de la phase prototype, apparaît décisif en vue de garantir la meilleure faisabilité autant technique qu'économique des nouvelles filières de construction en matériaux locaux. Une information technique, plus qu'une véritable formation, à été effectivement réalisée dans le strict cadre de l'opération mais s'adressant à un partenariat en nombre somme toute réduit. Il s'agit en fait d'une assistance à la conception architecturale et à la production des matériaux dont ont pu bénéficier les seuls acteurs de l'opération: les architectes concepteurs des projets, quelques cadres techniques de la maîtrise d'ouvrage, quelques architectes et ingénieurs membres d'une association locale de promotion de la construction en terre, quelques ingénieurs du bureau d'études mandaté par le maître d'ouvrage pour suivre l'exécution du projet, quelques techniciens d'un laboratoire régional de contrôle des matériaux, quelques cadres de l'Administration. Cette transmission de règles de l'art de la conception architecturale en terre et de recommandations pour la production des matériaux, bien qu'elle fut assurée par la diffusion de documents techniques, ne s'adressait pas assez directement à l'un des partenaires clé de l'opération : l'entreprise qui recherche plus directement à acquérir un savoir-faire pratique et immédiatement opérationnel. En effet, les entrepreneurs locaux ont été plusieurs fois convié à participer à des actions de sensibilisation ou d'information générale (réunions organisées en liaison avec la maîtrise d'ouvrage, voyages d'études de projets réalisés - Isle d'Abeau, par exemple) mais l'on n'a pas assez senti toute l'importance qu'il convenait d'accorder à la formation technique et pratique de l'exécutant potentiel.



N'aurait-il pas été possible de pousser la logique d'expérimentation sur prototypes jusqu'à y inclure une formation pratique de plusieurs entrepreneurs locaux en partant sur l'objectif immédiat de construction d'un prototype expérimental pour chacune des principales filières techniques (bloc de terre comprimée et pisé) et non d'associer cette phase prototype à un marché d'apparence classique sur lequel les opérateurs n'étaient pas suffisamment armés pour garantir des résultats performants et concurrentiels. Le coût d'une telle formation aurait pu être partagé par la maîtrise d'ouvrage, l'aide technique et financière à la recherche et à l'expérimentation, et une participation financière des entreprises intéressées. L'ensemble de l'enveloppe financière de l'opération (sur 60 logements) permettait sans doute d'amortir une formation intensive sur la construction de 2 chantiers-pilotes. On saisit là encore tout le poids de l'éclatement des rôles dans la filière de construction organisée qui isole chaque opérateur dans son mandat spécifique et qui effectue une distinction trop radicale entre, d'une part les acteurs de la commande, de la conception et du contrôle, et d'autre part l'entreprise et qui s'oppose à leur collaboration plus étroite. On saisit aussi la fonction de freinage des procédures opérationnelles classiques (procédures d'appel d'offres notamment) qui ne ne conviennent finalement que sur le terrain des pratiques rôdées où la concurrence est réellement possible. Une telle formation sur chantier prototype-pilote d'un plus grand nombre d'entreprises et d'équipes de chantier aurait permis une démultiplication de la transmission des savoir-faire et donc, par la suite, dans la cadre d'un appel d'offres ouvert sur des tranches de marché plus importantes, une mise en concurrence beaucoup plus saine et répondante des entreprises. Le fait d'avoir réservé l'accès à une formation pratique aux seules deux entreprises qui ont construit les prototypes en régie contrôlée n'est en effet pas favorable à une réelle relance de la construction en terre dans le secteur organisé ni à un abaissement des coûts. Cela conforte une situation de pénurie d'exécutants et légitime quelques rares monopoles techniques qui disposent ainsi d'une trop grande latitude spéculative sur les coûts de production et d'exécution. Cela explique sans doute en grande partie le nombre réduit de réponses qu'a obtenu le maître d'ouvrage à la suite du lancement d'appel d'offres sur la totalité du marché restant.

On ne peut que souhaiter ici que des stratégies de formation des compétences techniques plus ambitieuses puissent être déployées par la suite, dans le cadre d'autres opérations expérimentales pilotes (autres projets de construction en terre et autres opérations de construction en matériaux locaux qui rencontreront les mêmes difficultés) afin de permettre une réelle démultiplication de la transmission des savoir-faire qui sera seule favorable à la mise en place d'une filière matériaux locaux performante et concurrentielle.

Les limites d'efficacité de la régie contrôlée

La réalisation de la première tranche des 10 % du marché global (2 prototypes en blocs de terre comprimée sur le site de Hay Al Massira et 2 prototypes en pisé sur le site de Ait Ourir) a succédé à une consultation d'appel d'offres restreint. L'expérimentation et le contrôle serré qui lui est associé indiquait logiquement le choix d'une formule de suivi en régie contrôlée avec des décomptes établis sur les quantités de matériaux utilisées et les heures de travail. Cette formule permet théoriquement un contrôle précis des dépenses et donc une économie substentielle grâce à une gestion serrée des mouvements de matériaux et surtout de personnel mais cette économie n'est garantie que par la qualité et donc par la compétence du contrôle de la régie. Les bilans économiques qui ont été dressés à l'issue de la phase prototypes laissent apparaître une dérive sensible sur le poste matériaux (plus sensible sur le site de Ait Ourir) et une dérive importante sur le poste personnel (autant sur les deux projets). Force est-on de constater que d'importantes libertés ont été prises :

-d'une part sur les mouvements de quantités de matériaux utilisés: surconsommation de bois de coffrage, madrier, chandelles, contre-plaqué facturés au maître d'ouvrage par l'entreprise, consommation excessive de moellons et surconsommation de chaux pour une stabilisation du pisé et les enduits extérieurs au taddelakt,

-d'autre part sur le poste personnel qui semble avoir plusieurs causes relatives aux facteurs suivants:
. le manque de références du bureau d'études pour l'établissement de ses estimations lors de la préparation des marchés, en particulier sur le lot gros oeuvre en terre et plus précisément en termes de rendements d'exécution, d'où une sous-évaluation des temps de travail des personnels,
. les difficultés de collaboration entre les différents opérateurs, cela dès le stade de conception des projets, à l'origine de choix techniques et architecturaux encore obscurs lors de la phase chantier et qui ont du être résolus directement sur place. La formation des équipes de chantier directement sur le site avec toutes les hésitations et les lenteurs inhérentes comptables en chute de rendement et en surcharge de temps de travail,
. le manque d'incitation au rendement d'exécution sur chantier, gros oeuvre et second oeuvre compris, résultant d'un contrôle inadapté de la régie associé à un manque de rigueur dans le respect des planning d'exécution avec de longues phases de ralentissement et même des moments d'arrêt des chantiers, d'où une surcharge de personnel désoeuvré,
. les difficultés d'approvisionnement en terre avec de longues interruptions de livraison pour le chantier de Ait Ourir (problème des



autorisations d'exploitation des carrières identifiées), d'où, là encore, une surcharge de personnel sous-employé ou même désoeuvré,
. l'opération fréquente de mélange manuel de terre différentes sur le site de Ait Ourir -à cause d'une irrégularité de qualité de la livraison et du fait d'un manque d'équipement mécanisé de l'entreprise- que l'on doit rapprocher d'une stabilisation à la chaux trop systématique du pisé, plus pour des raisons de garantie préventive que de réelle efficacité technique, d'où surcharge comptable en temps de travail des opérations de tamisage manuel de la chaux et de malaxage manuel de la terre et de la chaux,
. une qualification insuffisante de la main d'oeuvre pour l'exécution du second oeuvre sur le chantier de Hay Al Massira,
. l'absence de moyens de levage (grue et godet) pour la mise en oeuvre du pisé sur Ait Ourir, et l'emploi de moyens de compactage traditionnel pour le pisé d'où faibles rendements d'exécution comptables en temps de personnel.

L'ensemble de ces remarques appelle deux observations principales.

-D'une part, la mise à disposition indispensable d'une compétence confirmée pour le suivi des décomptes et des travaux en régie. La compétence exigée doit être d'abord confirmée chez l'entrepreneur et ses équipes et appuyée par la compétence de l'architecte ou des personnels d'encadrement délégués par le bureau d'études ou la maîtrise d'ouvrage qui suivent le chantier. Cette question renvoit à l'importance qu'il convenait d'accorder à la formation initiale que l'on évoquait précédemment et à l'intérêt que l'on aurait du porter à la possibilité de réaliser au préalable un chantier-pilote servant de support à une formation intensive et largement ouverte (entrepreneurs, coordonateurs de travaux, maîtres-maçons, main d'oeuvre, etc).

-D'autre part l'obligation de mettre fidèlement en application les conclusions de l'étude de faisabilité technico-économique préalablement réalisée et diffusée aux partenaires qui, dans le cas présent, attiraient fondamentalement l'attention sur les dérives inévitables qui résulteraient de difficiles conditions d'exploitation des carrières de terre, de charges de transport des matériaux, d'une stabilisation excessive, d'une faiblesse des rendements d'exécution du fait d'un manque de modernisation des techniques de mise en oeuvre (autant de points qui ont été négligés sur le chantier de Ait Ourir) et d'une production de qualité inégale de la filière blocs de terre vibro-compactée (pour le site de Hay Al Massira).

La validité des objectifs du programme architectural

On peut enfin s'interroger sur la validité des objectifs du programme architectural initial de l'opération qui, sous prétexte de faire une

démonstration à caractère exemplaire a fixé la barre un peu trop haut quant à la qualité architecturale des projets. Les prototypes qui ont été réalisés répondent totalement à cet objectif et proposent des produits haut de gamme. La phase prototype a donc été plus coûteuse que prévu (surcoût des prestations ajouté au surcoût de l'expérimentation), tout en restant malgré tout dans des limites acceptables. Mais elle aura eu l'intérêt principal de permettre cette révision des produits et de rabaisser la barre de qualité, non en terme de qualité d'exécution mais en termes de "générosité" de prestations (surfaces, développés de murs, hauteurs sous-plafond, finitions et équipement), permettant ainsi de répondre à l'objectif d'accessibilité initialement posé par le programme et de rester pour l'achèvement de l'opération dans une gamme de logements "standing"de qualité et économique.



# LES PREMIERS ENSEIGNEMENTS DE L'OPERATION

## 3 - LE POINT DE VUE DES PARTENAIRES

### 3.1. LE MAITRE D'OUVRAGE : L'ERAC-TENSIFT

L'expérience menée par l'ERAC-Tensift avec les partenaires de l'opération a, de notre point de vue, connu un succès certain qui, s'il reste relatif, est une réussite technique.
Cette expérience a été menée depuis le départ avec toutes les précautions d'usage tant techniques qu'administratives.
Le lancement en deux phases a permis de tester et de mettre au point toutes les données techniques et financières de cette construction.
Avant de se lancer dans cette "aventure", l'ERAC-Tensift étant un organisme de promotion immobilière et non de recherche, est passé par un certain nombre d'épreuves qui ont été une à une surmontées avec l'aide de son équipe et des partenaires suivants :
- DCTC
- LPEE
- CRATerre
- GAITerre
- architectes
- BET.

L'ERAC-Tensift a joué surtout le rôle du catalyseur de coordinateur des opérations durant les différentes étapes depuis la signature de la convention avec REXCOOP en décembre 1982.

#### A - Elaboration du document

"Marrakech 83, habitat en terre" ou "Aide à la conception architecturale".
Cet ouvrage a mis en évidence :

a) Les règles essentielles de l'art de bâtir en terre tirées de l'observation et de la pathologie du matériau terre dans la région de Marrakech et dans les vallées du Draa et du Dades où la construction en terre est plus que millénaire et se perpétue jusqu'à nos jours.

b) Des filières de construction en terre crue :
- anciennes : pisé
  adobe
- modernes : blocs de terre crue compressée ou hypercompressée.

Le système mixte terre crue et briques de terre cuite est souvent utilisé en parement ou en renfort.

c) De la connaissance approdondie du matériau utilisé, "la terre", avec toutes ses caractéristiques techniques de résistance et de durabilité aux actions physiques et à celles du temps.

d) De certaines études de cas :
- présentation des 3 projets Erac-Tensift,
- quelques projets sur Marrakech et en France dans la région de Lyon,
- présentation de divers matériels :
  . banches
  . presses manuelles
  . presses mécaniques et hydrauliques.

Ce document important a permis aux équipes conceptrices d'élaborer les projets, de faire les choix techniques appropriés et de passer à la phase d'élaboration des marchés.

## B - Deuxième phase

Cette deuxième phase a connu plusieurs soubressauts et ceci surtout à cause :

a) Du marché d'approvisionnement des blocs de terre comprimée qui n'a pas connu le succès souhaité à cause de plusieurs facteurs énumérés plus loin.

b) De l'élaboration même du marché par le BET qui ne possédait pas de bases techniques et juridiques pour l'établissement d'un tel marché. Devant les difficultés, est venue l'idée de fractionner l'opération en 2 phases d'exécution dont la 1ère serait l'expérimentation de 4 logements sur les 2 filières choisies par le biais de la régie contrôlée.
Cette expérience s'est avérée salutaire tant au niveau de la maîtrise technique que financière.
Le bilan de cette expérimentation largement décrit dans cet ouvrage, a permis de statuer en plus de l'optimisation sur le coût (économie), sur:

-un certain nombre de recommandations techniques tant sur le pisé que sur le bloc :
. les modes de mise en oeuvre
. les modes de construction
. les règles et prescriptions techniques,

-l'utilisation des matériels disponibles au Maroc et de l'amélioration de certaines techniques traditionnelles, par exemple le fouloir pneumatique dans le pisé,



-la recherche de presses manuelles pour la construction individuelle et l'absolue nécessité d'industrialisation dans le domaine de la construction en grand nombre,

-l'élaboration des marchés conventionnels pour le matériau terre grâce aux recommandations faites par l'ERAC-Tensift (architectes et BET) et avalisées par la DCTC lors d'une rencontre avec les intervenants de l'acte de bâtir en février 1987.

## C - Phase réalisation

La troisième phase actuellement entamée depuis mars 1987, c'est-à-dire depuis le lancement des marchés au forfait et ouverture des plis le 30 avril 1987, est actuellement au point mort et ceci à cause du prix proposé par les entreprises locales. Une variante de blocs de ciment (proposée à titre de comparaison) est moins chère que la variante de base en terre de l'ordre de 15 % du prix total de la construction.
Il est nécessaire pour la réussite d'un programme de construction en terre au Maroc, de réfléchir aux moyens de faire avancer cette technique par :
-la mise en place de bases techniques et juridiques propres au matériau lui-même et aussi à son environnement,
-la sensibilisation et la formation au sein de l'entreprise marocaine, encadrement, matériel,
-la vulgarisation au sein du secteur public dans leurs programmes de construction,
-la revalorisation du concept de "maître d'oeuvre".

## Conclusion

Cette expérience "Terre Marrakech" est la deuxième du genre. Il ne faut pas oublier l'expérience BT 62 qui a vu la réalisation de plus de 3 000 logements mais dont les efforts n'ont pas vu de lendemain.
Nous pensons que les résultats obtenus sur cette seconde expérience nonobstant les difficultés rencontrées, devraient encourager les promoteurs publics et privés à continuer et à contribuer dans cette marche en avant de la construction en terre au Maroc.

## 3. 2 - LA MAITRISE D'OEUVRE

### Le Point de vue de M. Abderrahmane Chorfi, architecte

Problématique générale

Au Maroc, la terre est une tradition trés ancienne mais toujours vivante puisqu'elle continue aujourd'hui à générer la quasi-totalité des constructions sur une bonne moitié du monde rural. L'utilisation de ce matériau pose cependant quelques problèmes. Des études récentes montrent que le modèle d'habitation en terre ne se perpétue que "par défaut" de moyens financiers suffisants (dans le cadre de l'économie rurale). Partout c'est à une maison utilisant le béton, la brique, l'agglo... à laquelle les gens aspirent. Ce désir s'expliquant non seulement par la diffusion du modèle urbain lié implicitement à la modernité, à la richesse et au pouvoir (constructions de l'Etat, des notables et des travailleurs émigrés qui emploient les matériaux conventionnels) mais également par des problèmes concrets que posent les habitations traditionnelles en terre : poussière, surfaces intérieures difficiles à laver, fragilité des surfaces extérieures et nécessité d'un entrerien fréquent, pourrissement des planchers par endroits.

Cette situation contradictoire -nécessité d'utiliser la terre et insastifaction quant au résultat- a engendré dans la période récente une multitude d'innovations techniques. En effet, partout dans le monde rural des maâlems isolés tentent avec plus ou moins de bonheur et sans l'aide des techniciens spécialisés d'améliorer la qualité des maison en terre. On peut d'ailleurs constater, dans les vallées du sud marocain, l'existence d'une nouvelle architecture de terre vernaculaire d'une qualité d'exécution surprenante.

Je rappelerai ici que la perpétuation de l'emploi de la terre comme matériau de construction principal du gros oeuvre est justifié au plan économique (faible coût des constructions, coût de transport quasiment nul en cas de disposition de la terre sur le site,...), justifié au plan social (création d'emploi pour la main d'oeuvre, les entreprises et fortification des compétences locales) et aussi au plan culturel (prolongement dans le temps, sans ruptures brutales de traditions techniques ayant engendré des ensembles architecturaux de trés grande qualité formelle et spatiale).

Sauvegarder la construction en terre est une nécessité qui appelle une action à 2 niveaux :



1 - mener des expérimentations permettant d'améliorer réellement les techniques traditionnelles de la construction en terre au Maroc, (de la tradition à la modernité),
2 - donner à la terre ses lettres de noblesse en la faisant apparaître comme partie intégrante du modèle urbain.

L'opération Hay El Massira

L'opération Hay El Massira Terre correspond bien à ce double objectif précédemment énoncé.

L'option de réaliser deux prototypes selon des techniques différentes représente un réel effort d'expérimentation:

-un 1er prototype conçu de la façon suivante: murs de 20 cm d'épaisseur en blocs de terre de 20 x 20 x 40 fabriqués en usine, franchissements en B.A., planchers à voûtains en blocs de terre posés sur poutrelles en béton précontraint recouverts d'une dalle de compression, chaînages et raidisseursd'angles en B.A.

-un 2ème prototype conçu de la façon suivante : murs de 30 cm d'épaisseur en blocs de terre de 29 x 14 x 9 fabriqués sur le chantier, franchissements en arcs surbaissés en blocs de terre, planchers et chaînages similaires au 1er prototype, pas de raidisseurs aux angles.

Cette expérimentation s'est faite en prenant constamment en considération différents objectifs:
-cohérence des solutions techniques (dans la spécificité de la filière terre),
-économie des matériaux et des temps de mise en oeuvre,
-reproductibilité des techniques choisies (accessibilité technique et économique),
-fiabilité technique (qualité, durabilité).

Cette phase expérimentale a été utile puisqu'en bout de compte seul le 2ème prototype - parce qu'il répond mieux aux objectifs précédents - a été retenu pour la réalisation de la 2 ème phase de l'opération (20 logements et un centre culturel).

Les deux prototypes réalisés participent bien de ce processus dans lequel la construction en terre doit être et apparaître comme une des expressions de la modernité. Ils ont été réalisés par un promoteur-constructeur de l'Etat, dans le cadre d'une coopération internationale et ils ont été entourés des soins d'un encadrement technique de qualité. Ils constituent deux logements ayant tous les attributs du confort contemporain tel qu'il est attendu par la population (eau, électricité, branchement à l'égoût, WC, salle de bains, cuisine équipée d'une

paillasse et de placards, grandes fenêtres, enduit intérieur parfaitement propre et lisse, sol lavable,...). Les logements réalisés, bien que la terre ait été l'élément principal d'expérimentation, ont été dessinés avec le souci constant de faire primer l'architectural sur le technique de façon à leur donner le plus de qualité possible (bioclimatique, adaptation aux usages, prise en compte de l'expression urbaine,...).

Dès la fin de cette phase expérimentale, un important effort de médiatisation doit être entrepris. Au Maroc, cet effort devra être prioritairement dirigé, d'un côté vers les ministères techniques, les financeurs et promoteurs publics et les autorités locales et, d'un autre côté vers les intellectuels et les artistes susceptibles de promouvoir des réalisations exemplaires et de porter en avant un courant d'idées favorables au renouveau de la construction en terre.

Par ailleurs, la durée de la phase de conception et les problèmes soulevés au cours de la réalisation des prototypes montrent bien que concevoir et réaliser en terre n'est qu'apparemment facile. Cela suppose des compétences et, en amont, une formation destinée aux architectes, aux ingénieurs et à l'ensemble de l'encadrement technique. Cette tâche est essentielle si nous voulons que demain la construction en terre puisse à nouveau s'épanouir.



## 3.3 - LA DCTC - CTB (Direction du Contrôle Technique de la Construction - Centre Technique du Bâtiment)

L'opération "Rexcoop-Terre" de Marrakech a réuni de nombreux acteurs dont la Direction du Contrôle Technique de la Construction et le Centre Technique du Bâtiment.
Ils sont intervenus à plusieurs titres :
-tout d'abord, en tant que représentant des pouvoirs publics qui sont concernés par cette opération comme étant l'une des étapes dans la mise en place d'une politique alternative de la construction ;
-ensuite, comme experts en matière de technologies et techniques de construction.
Ce faisant, ils ont pu tracer un bilan provisoire de l'opération. Provisoire, parce que les résultats obtenus sur les prototypes construits à Marrakech doivent être validés par les observations à venir sur l'ensemble des lotissements.
Toutefois, certains acquis peuvent déjà être énoncés sans crainte d'erreur et leur exploitation devrait être entreprise.

L'appréciation de l'opération est largement positive, tant en ce qui concerne les technologies mises en oeuvre que les ouvrages réalisés ou les procédures originales de maîtrise d'ouvrage établies à cette occasion.
L'étape de réalisation des prototypes qui a allongé les délais d'exécution de l'opération a apporté un grand nombre d'enseignements dont la moisson ne fait que commencer.

Sur les technologies, la filière "vibrocompactée" a montré son manque actuel de maturité. Il n'est d'ailleurs pas du tout certain que cette filière constitue la panacée des technologies de construction en terre.
Par contre, la maçonnerie de blocs compactés statiquement sur chantier et le pisé sont deux filières d'ores et déjà viables dans le secteur organisé de la construction, mais elles laissent apparaître de larges perspectives d'évolution :
-modernisation du pisé par la mise au point d'outillages plus performants,
-mise au point de nouvelles presses à blocs mieux adaptées au contexte économique et social des pays utilisateurs : on pensera, dans un premier temps, à la valorisation des énergies utilisées et à l'augmentation des caractéristiques mécaniques des blocs, deux voies de recherche pas forcément compatibles.

Sur les constructions réalisées, les prototypes ont permis de cerner, tant en matière de second oeuvre que de gros oeuvre, l'intérêt ou non de certains choix architecturaux et dispositions constructives. Les

technologies d'interface entre gros et second oeuvre posent encore de nombreux problèmes, certes non rédhibitoires, mais dont la solution conditionne toutefois le succès complet de la filière.
L'évaluation ne pourra être entreprise, dans bien des cas, qu'après l'épreuve du temps, c'est-à-dire quand la durabilité des ouvrages, surtout de ceux en contact avec l'eau de pluie ou domestique, aura été solidement établie.
Apparaîtra alors clairement la pertinence ou non de certaines dispositions constructives comme par exemple, la réalisation de voûtains entre poutrelles et sous escaliers, l'affleurement de dormants de baies ou encore la suspension d'équipements dans la salle-de-bains,..., ouvrages "a priori" problématiques.

Sous cette réserve d'importance majeure, la filière terre adoptée paraît globalement satisfaisante, du moins sur le plan technique.

Deux autres aspects doivent être considérés dans une rapide synthèse : d'une part et en premier lieu, la perception sociale de la construction en terre, d'autre part, son intérêt économique.

Peu d'études ont été menées sur l'acceptation de la construction en terre par les populations concernées. L'opération de Marrakech n'a pas, de ce point de vue, apporté de nouveauté et nous pouvons le regretter. Il est bien entendu évident que le problème de la commercialisation des logements se situe au centre du renouveau de la filière terre ; il nous semble important de suivre les efforts du maître d'ouvrage dans cette étape de la vie de l'opération.

En matière de maîtrise d'ouvrage, les procédures mises au point à l'occasion de la Rexcoop-Terre de Marrakech représentent une étape décisive dans la problématique de l'introduction, non seulement de la terre, mais encore de tous les matériaux locaux, dans le secteur organisé de la construction.

La procédure adoptée à Marrakech, consistant à distinguer deux étapes, l'une relative aux chantiers prototypes, l'autre au reste de l'opération devrait permettre, nous en sommes convaincus, de maîtriser les coûts de la construction en terre, tout en gardant l'équilibre économique indispensable entre les différents intervenants.

Compte tenu des premiers éléments économiques dont on dispose, le coût global des opérations en terre ne devrait pas dépasser celui des constructions classiques : on peut même penser que, en fonction de la dynamique de la maîtrise d'ouvrage et des conditions locales environnantes, le coût global d'une telle opération pourrait se situer, dans le secteur organisé de la construction, aux alentours de 80 % de la construction classique équivalente.



Enfin, en matière de filière de construction, on doit rechercher une réduction du nombre des intervenants dans l'acte de bâtir autour de trois acteurs centraux : le maître d'ouvrage, le maître d'oeuvre et l'entrepreneur. Et ceci :

-parce qu'architecture et matériau terre sont tellement liés que toute la responsabilité doit revenir à un maître d'oeuvre unique,

-parce que le second oeuvre doit être si bien adapté au gros oeuvre en terre qu'il est souhaitable que les travaux soient exécutés par un entrepreneur unique.

En conséquence, l'intérêt du maître d'ouvrage est de passer des marchés à lot unique. Cette disposition est de nature à participer à la réduction des coûts de la construction.

Ce bref aperçu du bilan provisoire de l'opération "Rexcoop-Terre" de Marrakech est, sans doute, trop partiel pour pouvoir en tirer des directives précises. Toutefois, il résume l'impression des pouvoirs publics à l'égard de la filière terre ; impression favorable impliquant une volonté politique d'arriver à la mise en valeur complète de la filière.

Pour ce faire, il est fondamental que l'action publique de promotion de la construction en terre soit épaulée par l'ensemble des intervenants dans l'acte de bâtir : en particulier, par les maîtres d'ouvrage, car l'évolution de la politique globale de la construction menée par le Ministère de l'Habitat laisse un rôle de plus en plus important à la promotion privée.

Mais cette dernière ne semble pas, à l'heure actuelle, très réellement concernée par le renouveau de la filière terre ; de gros efforts restent à faire en matière d'information auprès des maîtres d'ouvrage pour les associer à la volonté de réduction du déficit en logements qui passe, pour partie, par la valorisation de cette filière particulièrement en vogue, mais aussi, par la valorisation de tous les matériaux locaux dont le pays dipose et la réactualisation des procédures et organisations des filières plus classiques de construction.

Direction du Contrôle Technique de la Construction

## 3.4. Le LPEE (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes)

Le point de vue du LPEE est ici exprimé par M. A. Boualil, chef du laboratoire régional du LPEE de Marrakech à partir d'une note transmise par M. Boualil et de divers éléments exprimés à l'occasion d'un interview réalisé en février 1986.

Les missions du LPEE

Le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE) représenté par son laboratoire régional de Marrakech a été associé au projet de construction en terre réalisé par l'ERAC-Tensif. Il a participé aux différentes phases des projets Hay Al Massira et Ait Ourir qui ont abouti, dans un premier temps, à la réalisation de deux prototypes sur chacun des deux sites. Les missions du LPEE ont été les suivantes :

-Tout d'abord, en première phase, une mission de reconnaissance des carrières de terre sur les sites voisins de l'implantation des projets, afin d'évaluer leurs potentialités en sol utilisable pour construire en terre et permettre par la suite aux partenaires du projet de choisir les filières techniques les mieux adaptées aux caractéristiques du sol disponible.

-Ensuite, en deuxième phase, les filières étant choisies, le laboratoire est intervenu, notamment pour le projet de Hay Al Massira réalisé en blocs de terre comprimée, pour vérifier l'opportunité d'une stabilisation et, dans l'affirmative, pour préciser sa nature et sa teneur. Pour mener à bien cette deuxième mission, le laboratoire s'est référé au "Cahier des Spécifications Techniques Pour la Fabrication des Matériaux en Terre" élaboré par le CRATerre en août 1984 (voir bibliographie et ouvrage cité).Ce document spécifie entre autre, pour ce qui concerne le bloc comprimé, une résistance moyenne à 28 jours d'au moins 3 Mpa et 27 jours ajouté de 1 jour de cure (R. Humide), une résistance d'au moins 1.5 Mpa. Les différents essais d'écrasement qui ont été réalisés par la suite ont montré que, d'une part, le ciment est le liant le mieux adapté à une stabilisation des terres de la région de Marrakech et que, d'autre part, un taux de 4 % permet d'obtenir avec une presse de type Altech PACT 500 qui a été utilisée des blocs de qualité satisfaisante. En effet, les blocs stabilisés à 4 % de ciment ont atteint une Résistance Sèche Moyenne de 5,8 Mpa et une Résistance Humide Moyenne de 2,7 Mpa, alors que la résistance des blocs non stabilisés doit être considérée comme nulle. On notera, d'une manière générale, que l'on n'a pas eu de gain important de résistance entre 7 et 14 jours, ce qui peut être favorable à l'accord de tolérance sur les délais de cure des matériaux avant leur utilisation, sous contrôle du laboratoire étant entendu. Par ailleurs, les essais réalisés sur deux



catégories distinctes de blocs, d'une part des blocs de terre comprimée, en compression statique, et d'autre part des blocs de terre vibro-compactée, ont confirmé qu'il était préférable d'abandonner cette deuxième filière technique. En effet, la filière de production par vibro-compactage a donné des résultats de résistance moyenne pas supérieure, voire équivalente, à ceux obtenus par la filière compression statique, pour, en contre-partie, des coûts de production très supérieurs et une régularité de qualité déficiente notamment avec un risque de casse important à la manipulation des blocs produits lors de leur transport et sur le chantier.

-Enfin, en troisième phase, l'intervention du laboratoire a consisté en, d'une part, des contrôles de qualité des terres approvisionnées, par des essais d'identification et, d'autre part, des contrôles de qualité des blocs fabriqués par des essais d'écrasement. Ces contrôles ont été effectués suivant une fréquence déterminée au préalable par les différents partenaires de l'opération.

## Conclusions

Les enseignements essentiels que le laboratoire a retenu de sa participation à la Rexcoop-Terre de Marrakech sont :

-Les études préléminaires de recherche de carrières doivent être faites en priorité, cela bien avant les décisions d'ordres de service confirmant l'ouverture des chantiers.

-Les délais accordés à cette mission préalable ne doivent pas être trop courts de façon à favoriser un exercice correct de l'ensemble des termes de la mission : prospection et identification, contrôle de qualité notamment. On observera que les études d'idenfication des terres doivent très directement se préoccuper, non seulement de la qualité des terres exploitables mais surtout de la quantité des gisements disponibles. Il convient notamment de s'assurer d'un stockage préalable, sur le site du chantier, des quantités de terres foisonnées utiles à la production des matériaux. L'opération a notamment montré que l'on pouvait être confronté à de graves problèmes d'exploitation des gisements, problèmes d'ordre foncier (sites sur des domaines publics), d'environnement (zones bâties ou constructibles) et d'accès (difficulté à trouver des gisements dans un rayon de 3 à 4 km que l'on considère comme une limite maximale au regard d'une rentabilité économique des frais d'exploitation et de transport). Il apparaît ainsi qu'une telle mission préalable d'identification des gisements et de leur mise en exploitation, doive être préférablement prise en charge, dans un premier temps, par le maître d'ouvrage de l'opération qui mandate officiellement le laboratoire pour ce faire ; dans un deuxième temps, le maître d'ouvrage est relayé par l'entreprise adjudicataire du marché de

construction qui assume tous les frais d'identification, d'exploitation des gisements, de tests et d'essais.

-La mise en exploitation et le stockage des quantités de terre peuvent être réalisés en tout début de chantier, lorsqu'il s'agit d'un chantier en pisé, simultanément à la réalisation des fouilles et des fondations, alors qu'un délai supérieur doit être accordé lorsqu'il s'agit d'un chantier en blocs comprimés. En effet, dans ce deuxième cas de figure, il s'agit d'avoir du temps pour réaliser une production-tampon dont la quantité est suffisante pour ne pas ralentir la bonne marche du chantier et dont la qualité doit être confirmée avant l'ordre de service d'élévation des murs en maçonnerie de blocs. Il faut donc inclure dans ce délai le temps de cure de séchage des matériaux et le temps nécessaire aux essais de contrôle de qualité.

-La cadence des essais de contrôle doit évoluer en fonction du savoir-faire de l'entreprise au fur et à mesure de la production. Nous proposons que la cadence de contrôle prévue en début de production sur une base minimale de lots de 5000 blocs, soit assez rapidement relâchée et ramenée à des prélèvements de contrôle sur des lots de 20000 blocs. Ce relâchement étant bien-sûr contrôlé par le laboratoire. Cette disposition nous semble particulièrement importante pour ne pas gréver inutilement le coût du marché, le contrôle étant à la charge de l'entreprise.

-Enfin, par expérience, nous voudrions ici préciser que l'exigence d'un rapport entre la Résistance Humide et la Résistance Sèche supérieur à 0,5 est à notre avis sévère pour une région aride comme Marrakech. On pourra se contenter des spécifications concernant les Résistances Sèches et Humides et même accepter une tolérance de réduction du rapport RH/RS à 0,4 pour les parties de murs en terre bien protégés par une bone conception architecturale, le rapport de 0,5 pouvant n'être réservé qu'aux parties de murs les plus exposées telles que les premières assises en pied de mur.



## 3.5 - LE BUREAU D'ETUDES PROMOCONSULT

### Liminaire

Le point de vue du Bureau d'Etudes Techniques Promoconsult qui est ici exprimé est issu de bilans techniques et financiers qui ont été dressés, séparément, sur les opérations Ait Ourir et Hay Al Massira, en octobre 1986. Ne sont repris ici que les aspects techniques de ce bilan, ajoutés d'éléments de reflexion recueillis auprés des ingénieurs du BET lors d'une enquête-bilan réalisée en février 1987; les aspects économiques ont été traité au chapitre concernant l'analyse financière de l'opération prototype.

En ce qui concerne les études de structures, l'inexistence de normes techniques propres à la construction en terre imposait au BET l'application et l'adaptation des règles de la construction "classique", à savoir les règlements BAEL et CCBA 68, le DTU 20-11 et les règles pratiques de construction.

Bien qu'étant ouvert à l'expérimentation, le BET ne pouvait en quoi que ce soit cautionner une démarche et des choix "hors-normes" dont il garantirait la faisabilité, seul et a priori, sans consensus technique avec d'autres organismes sollicités par l'opération. C'est en conséquence qu'il a été proposé au maître d'ouvrage, la création d'une commission composée des représentants de l'ERAC, de PROMOCONSULT, de l'entreprise, des architectes, de la DCTC, du GAITerre et de CRATerre pour enterriner les choix techniques expérimentaux; c'est ainsi qu'un certain nombre de décisions collégiales ont été prises sur chantier dans un but d'optimisation.

### 3. 5. 1. - L'OPERATION AIT OURIR TERRE

L'opération Ait Ourir Terre concerne la construction de 20 logements dont deux prototypes ont été réalisés dans une première phase expérimentale.

#### Les caractéristiques techniques des prototypes d'Ait Ourir

-Fondations:
.fond de fouilles à 0,80 mètre pour un taux de travail de O,25 MPa,
.gros béton avec chaînage supérieur seulement.
-Soubassement:
.hauteur fixée à au moins 0,20 mètre au dessus du chaînage inférieur.

-Blocage:
.épaisseur de 0,15 à 0,20 mètre.
-Dallage:
.en béton, dosé à 250 kg /m 3, épaisseur de 7 cm.
-Linteaux:
.préfabriqués.
-Poteaux:
.en B.A., habillés de briques de terre.
-En étage:
.20 cm de béton maigre au dessus du plancher.
-Cloisons:
.en brique de terre.
-Pisé:
.stabilisé à la chaux (8 à 10 %), épaisseur des murs de 45 cm,
.mise en oeuvre avec des banches type "Terre et Soleil" et traditionnelles.
-Plancher inférieur:
.en voûtains au plâtre.
-Planchers supérieurs:
.en voûtains au plâtre.
-Revêtements:
.en carreaux de ciment.
-Etancheité:
.au bitume 90/40 et papier feutre 27/5.
-Terrasse:
.non accessible.
-Hauteur des acrotères:
.0,40 mètre.

## Bilan technique et Recommandations

On observera que le chantier en pisé de Ait Ourir a connu quelques difficultés d'organisation du fait de problèmes d'exploitation des carrières de terre qui avaient été identifiées sur des terrains du domaine public (problèmes d'autorisations d'exploitation). Ce fut notamment le cas, en début de chantier, avec l'arrêt d'exploitation de la carière des Habous qui obligea à chercher une nouvelle carrière.

Les principaux problèmes posés par le pisé ont été des phénomènes localisés de fissuration et de gonflement. Ces phénomènes sont apparus plus particulièrement sur l'un des 2 logements prototypes. Nous pouvons avancer plusieurs explications:
-le prototype ayant subi des détériorations se trouve moins exposé au soleil,
-le dosage du stabilisant pour la terre n'a pas été soumis à l'approbation du Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes,



-les gâchées de béton de terre stabilisé n'ont peut être pas été mises en oeuvre en une seule fois.

Concernant ces problèmes, la contribution des intervenants tels que LPEE, DCTC, CRATerre et GAITerre s'est avérée primordiale.

Certaines modifications ont été apportées aux plans d'exécution prévus à l'origine, avec notamment la suppression d'une salle de bains à l'étage et la réalisation de planchers à poutrelles béton et voûtains au plâtre armé de filasse au lieu de voûtains en blocs de terre.

-La mise en oeuvre de l'enduit au taddelakt n'a pas été satisfaisante. Une attention particulière sera accordée aux conditions d'application de ce type d'enduits pour la suite de l'opération.
-Par contre, la réalisation des planchers-voûtains au plâtre n'a présenté aucun problème particulier.
-Des baguettes ont été placées dans les angles horizontaux et verticaux afin de protéger le pisé et les enduits.
-Les déchets de carreaux de ciment sont important ; ceci est principalement du aux aléas de transport et à la mauvaise qualité des carreaux.

Il importe de préciser ici que le facteur compétence de l'entreprise, supposant une formation technique en amont, est un facteur capital de qualité et d'économie d'exécution. Il s'agit bien en effet de moderniser les techniques d'exécution du pisé, ce qui n'a pas été fait sur ce chantier de Ait Ourir malgré quelques tentatives (banches "Terre et Soleil") qui n'ont pas recueilli l'intérêt de l'entreprise. On relevera par ailleurs l'importance d'un contrôle rigoureux de l'exécution qui n'a pas été assez strict en ce qui concerne le suivi en régie de ce chantier prototype. Les conséquences ont d'ailleurs été analysés au plan économique (surcharge du poste personnel notamment).

## 3. 5.2. - L'OPERATION HAY AL MASSIRA TERRE

L'opération Hay Al Massira Terre concerne la construction de 20 logements dont 2 prototypes ont été réalisé dans une première phase expérimentale.

## Caractéristiques techniques des prototypes de Hay Al Massira.

Les deux prototypes de cette opération réalisée en blocs de terre ont mis en application deux filières techniques distinctes avec:
-1 prototype réalisé en blocs de terre vibro-compactée, creux, aux dimensions de 20 x 20 x 40, bloc qui n'a pas donné satisfaction et vis à vis duquel le BET a trés vite émis des réserves quant à l'intérêt de son emploi (précisions apportées par la suite).

-1 prototype en blocs de terre comprimée, pleins, aux dimensions de 29,5 x 14 x 9.

Les caractéristiques techniques définitives des prototypes de l'opération Hay Al Massira sont les suivantes:

Structure:

-Fondations: sur puits en gros béton, jusqu'au bon sol et semelles filantes.
-Dimensions du chaînage:
.dimensiòn uniforme avec 3 T8 et cadre T6 en partie basse,
.largeur égale à celle du mur,
.hauteur, 14 cm,
.acier (voir plans).
-Dallage:
.blocage réalisé en déchets de criblage arrosés et compactés,
.dalle flottante de 8 cm d'épaisseur avec treillis soudé 20 x 20 épaisseur 4 cm et film plastique.

Superstructure:

-Soubassement: en gros béton dosé à 170 kg / m3 au lieu de 250 kg, selon recommandations de la DCTC.
-Murs:
.épaisseur 30 cm en blocs de terre comprimée stabilisée, pleins, aux dimensions de 29,5 x 14 x 9, porteurs, sans raidisseurs aux angles,
.épaisseur 20 cm en blocs de terre vibro-compactée, creux, avec raidisseurs en béton armé aux angles.
-Linteaux: préfabriqués précontraints.
-Chaînages supérieurs: d'épaisseur égale à l'épaisseur de la dalle et de largeur égale aux 2/3 de la largeur du mur (suivant prescription DTU 20-11).
-Planchers: en poutrelles type PPB et voûtains en blocs de terre comprimée stabilisée, pleins (29,5 x 14 x 9). Dalle de compression de 4 cm + treilis soudé.
-Escaliers:
.Prototype 1 (blocs 20 x 20 x 40) : escalier sur dalle de béton avec coffrage perdu en voûtains de terre.
.Prototype 2 (blocs 29,5 x 14 x 9) : escalier prévu en béton armé, à deux volées mais réalisé en blocs de terre avec paillasse en voûte catalane. Marches en béton armé de 2 T8 filants + épingle de T6 tous les 20 cm.
-Acrotères:
.réalisés en 3 rangées de blocs de terre comprimée stabilisée (8 %) pleins, hauteur 44 cm, terrasse non accessible.
-Etancheité: en 3 x 27 S et protection en dess traditionnel (chape de chaux).



-Revêtement de sol:
.Prototype 1 : en granito
.Prototype 2 : en carreaux de ciment.
-Murs de clôture: épaiseur 30 cm en blocs de terre comprimée stabilisée (4 %).

**Bilan technique et Recommandations**

La réalisation des 2 prototypes en blocs de terre de l'opération Hay Al Massira permet de tirer les conclusions suivantes:

1-L'utilisation du bloc de terre vibro-compactée, creux, aux dimensions de
20 x 20 x 40 est à bannir pour les raisons suivantes:
.difficulté de production (fabrication en usine lourde, fixe, avec matériel trés coûteux),
.coût du bloc : 3,60 DH environ, soit 3 à 4 fois plus cher que le bloc plein de 29,5 x 14 x 9,
.difficultés de mise en oeuvre en raison des dimensions et du poids,
.fragilité des parois minces confimée par l'apparition de plusieures fissures après coulage des raidisseurs en béton aux angles, important rebus au transport et à la manipulation des blocs,
.fissurations sous les allèges de fenêtres; toutefois, ces fissurations peuvent être orientées selon les joints des blocs

2-Les options techniques réalisées pour le prototype 2 (bloc plein) sont satisfaisantes. La suppression des raidisseurs d'angles proposée par la DCTC pour ces maçonneries de 30 cm d'épaisseur est une disposition innovante. La DCTC produira d'ailleurs un rapport sur les différents choix techniques qui ont été arrêté sur le chantier (voir communication des actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux, Marrakech, avril 1986).Le DTU 20-11 demeure une base de travail correcte en attendant la production d'un document technique adéquat et propre à la construction en terre.

3-La réalisation d'escaliers sur paillasse en voûte catalane en blocs de terre comprimée stabilisée pleins, avec marches en béton armé s'est avérée satisfaisante. Il est à prévoir, néanmoins un principe de reprise des efforts transmis par la voûte, soit avec contreforts ou chaînage filant.

4-L'expérimentation du plancher à poutrelles et voûtains est satisfaisante. Une simplification des coffrages a été obtenue en utilisant un seul madrier et en changeant la dimension des entre axes. Par contre l'intérêt économique d'un tel système reste à démontrer, les coûts des planchers en hourdis creux traditionnels étant équivalents.

5-En matière d'enduits, les enduits intérieurs en plâtre et les enduits extérieurs à base de chaux et ciment n'ont posé aucun problèmes particuliers.

En conclusion de cet expérimentation de Hay Al MAssira, il ressort de ces conclusions que le prototype 2 en blocs pleins de 29,5 x 14 x 9 doit rester la référence de travail pour la réalisation du reste du programme prévu sur ce site .

## Conclusions

L'intérêt de cette opération expérimentale sur prototypes a principalement résidé dans la possibilité de tester des dispositions constructives innovantes et dans la possibilité de préparer des documents techniques spécifiques. En ce qui concerne la part du BET, cette expérimentation nous a notamment permis de mettre au point, en liaison avec les partenaires du contrôle technique (DCTC et LPEE) et de l'Assistance technique (CRATerre), des documents de Cahier des Prescriptions Spéciales et de Cahier des Prescriptions Techniques totalement originaux qui permettent aux organismes de maîtrise d'ouvrage de lancer des appels d'offres avec des dossiers de marché constitués en bonne et dûe forme tout en restant spécifique à la construction en terre. Il s'agit bien là d'un des apports capitaux de l'opération.



# LA DYNAMIQUE DES PROJETS TERRE

## Liminaire

L'opération Rexcoop "Marrakech-Habitat en terre" a directement contribué à engager au Maroc, un renouveau de la construction en matériaux locaux et plus particulièrement de la construction en terre. Les actions de sensibilisation et d'information technologique des décideurs et des opérateurs de l'acte de bâtir qui ont été réalisées dans le cadre de l'opération menée par l'ERAC-Tensift ont directement ou indirectement profité à d'autres opérations lancées par d'autres partenaires sur le territoire marocain. Nous voulons rappeler ici qu'il existe désormais au Maroc une dynamique des projets de construction en terre dont les principaux phares sont quelques unes des opérations que l'on présente par la suite :

-le Projet de Centre de Formation aux Métiers de Montagne de Tabannt, Province d'Azilal
-l'opération nationale de construction en terre "Bni Darek",
-l'opération de Tan-Tan Plage de l'Omnium Marocain de Pêche,
-une villa pour fonctionnaire (architecte Mamoun Zagrouj) servant de support au lancement de l'opération "Bni Darek" dans la province de Ouarzazate,
-plusieurs projets de villas réalisées par des architectes et bâtisseurs (Mme Laraki)

# LE CENTRE DE FORMATION AUX METIERS DE MONTAGNE DE TABANNT

D'après une notice descriptive communiquée par M. Jean Morpain, architecte au Centre Régional des Enseignements Touristiques de Briançon, (CRET), maître d'oeuvre du projet.

## Présentation générale du projet

Le CFAMM, Centre de Formation Aux Métiers de Montagne de TABANNT, situé à 1900 m d'altitude dans la vallée retirée des AIT BOUGMMAZ (Province d'Azilal), est destiné à regrouper l'essentiel des activités pédagogiques de l'Expérience Pilote Intersectorielle d'Economie Rurale de Haute Montagne dans le Haut-Atlas marocain, intéressant quatre vallées : AIT BOUWGMMAZ, AIT BOUWLI, ZAWYAT AHANCAL, QALAA'T MGOUNA.

## Le parti architectural et le programme

Destiné à accueillir une cinquantaine de stagiaires, le centre constitue un ensemble articulé en unités fonctionnelles autour d'un noyau de services généraux, de façon à rendre possible une extension ultérieure limitée et une évolution des pratiques pédagogiques.

L'échelle de la communauté appelée à vivre dans les lieux, et la diversité des activités, ont suggéré le principe du village, étalé sur la pente, conformément à la tradition de la vallée.

La construction se présente donc en échelonnement de terrasses. Les différents volumes s'articulent autour de cours ou de places successives, étagées selon la pente naturelle du terrain, et reliées entre elles par des ruelles ou des emmarchements.
Chaque activité, ainsi recentrée sur une place intérieure, ouvre d'autre part sur l'extérieur par l'intermédiaire d'une cour, close d'un mur d'enceinte.

Les surfaces sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| 1. Locaux généraux de travail et d'enseignement : | 250 m2 |
| 2. Formations spécifiques : | 530 m2 |
| 3. Hébergement : | 420 m2 |
| 4. Administration, services, équipements : | 800 m2 |
| TOTAL : | 2.000 m2 |

## Les choix technologiques :

Les choix technologiques sont faits dans le souci d'appropriation possible des solutions proposées par les constructeurs locaux, intervenant le plus souvent pour eux-mêmes.
D'où le recours à des procédés simples, des matériaux facilement accessibles, des équipements robustes et de modèle courant.

Ainsi, le projet fait appel le plus possible aux matériaux et aux techniques locales dont l'efficacité et la réponse aux contraintes naturelles sont parfaitement maîtrisées, tout en proposant une évolution des modes de construction et d'équipement.

a) Fondations et soubassements : blocage de pierres hourdées au mortier de chaux et terre prolongé d'un soubassement de pierre (h : 0,50 m)

b) Murs : pisé

c) Planchers : poutrelles en béton avec hourdis en terre comprimée ou terre-paille avec dalle de compression armée.



d) Eléments d'ossature (poutres, chaînages, linteaux) : en béton armé.

e) Toitures : terrasses débordantes avec forme de pente en terre-paille stabilisée, émulsion de bitume armée de toile de verre et protection en mortier de bitume-terre ou dalles de pierre.

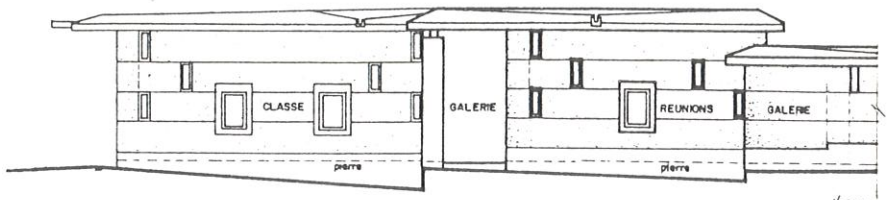
f) Equipement thermique : isolation optimale des bâtiments avec murs-écrans en pierres et interposition d'une isolation en paille comprimée sur les façades ouest, nord et est ; toitures terrasses isolées en terre-paille protégées par chape d'usure en terre stabilisée. Parois sud protégées du soleil en saison chaude par des avancées de galeries ou de toitures (a = 81°) et doublées d'un vitrage dans certaines parties des locaux d'enseignement solarisées en hiver.
Capteurs solaires pour préchauffage de l'eau sanitaire, appoint pour eau chaude et base de chauffage à l'électricité ; ventilation naturelle.

g) Assainissement, épuration : alimentation en eau par pompage et stockage en citerne ; traitement d'épuration du type toutes-eaux par décanteur-digesteur et épandage souterrain utilisable en appoint pour les cultures.

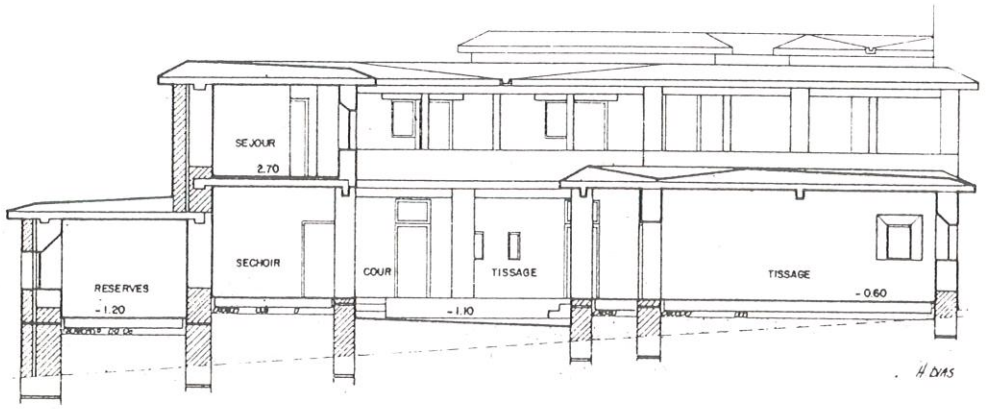
## Phasage et réalisation

Le chantier, commencé à l'automne 1984, est assuré par une main d'oeuvre exclusivement locale, dans le cadre de la Promotion Nationale marocaine, et sous le contrôle de la Direction Provinciale de l'Equipement d'AZILAL. L'ouvrage devrait être entièrement terminé fin 1987.

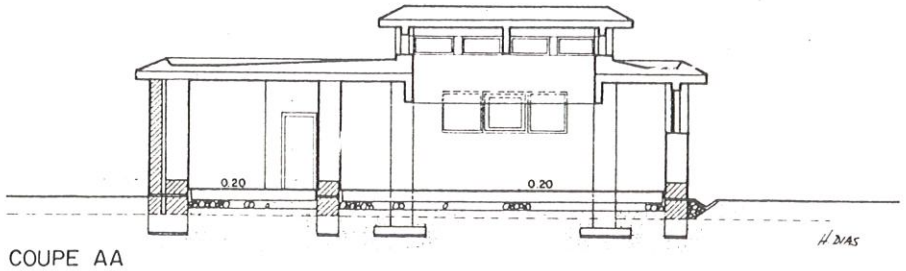
CFAMM DE TABANNT. Province d'Azilal. Architecte : Jean MORPAIN, centre régional des enseignants touristiques de Briançon.




FACADE LATERAL

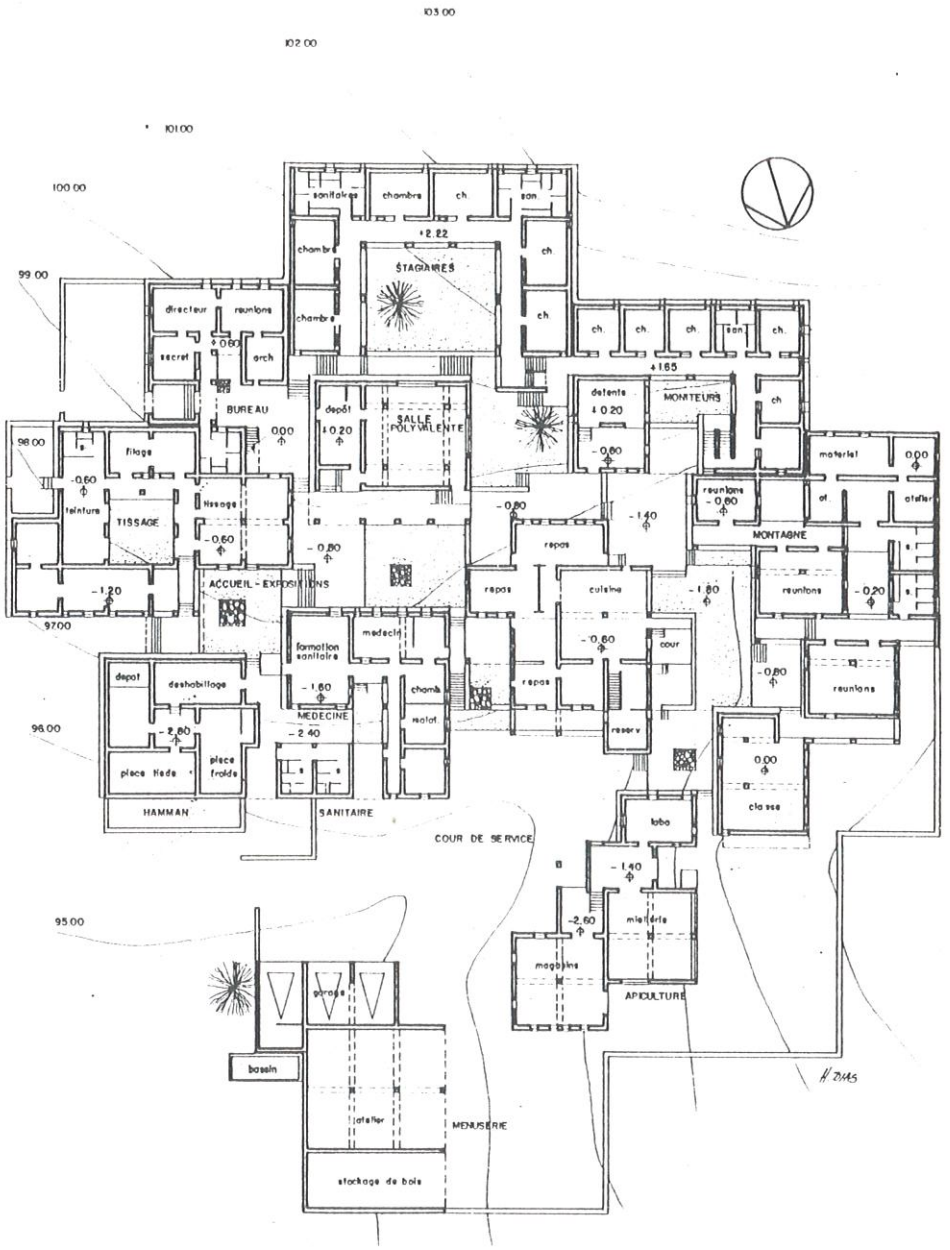



COUPE BB




COUPE AA






CFAMM DE TABANNT
J. MORPAIN, architecte

## LA DYNAMIQUE DES PROJETS TERRE

---

## L'OPERATION BNI DAREK, UNE OPERATION NATIONALE DE CONSTRUCTION EN TERRE

---

### Liminaire

Le texte de présentation qui suit est une contribution de la Direction du Contrôle Technique de la Construction.

### 1 - Présentation de l'opération : objectifs

La présente opération a été lancée à l'initiative de Monsieur le Ministre de l'Habitat. Elle possède deux principaux objectifs :
-sur le plan technique, revaloriser l'image de la construction en terre et actualiser des pratiques constructives profondément ancrées dans la culture marocaine, par l'utilisation de méthodes modernes de mise en oeuvre, en l'occurence, les blocs de terre comprimée,
-sur le plan économique et social, développer la construction dans les provinces éloignées des centres industriels en suscitant des conditions favorables à la création d'entreprises locales de construction en terre et en favorisant l'entraide constructive entre voisins.
Le choix fait au départ en faveur de la technique des blocs de terre comprimée permet, face au pisé et à l'adobe dévalués dans nombre d'esprits, de montrer un aspect "moderne" de la terre grâce à la charge technologique apportée par les presses et donc, de valoriser ce matériau de construction.

### 2 - Phasage de l'opération

Le bien-fondé d'une démarche progressive dans les opérations innovantes est apparu avec éclat dans l'opération Rexcoop-Terre de Marrakech. Les réflexions menées à la DCTC et les leçons apportées par certaines difficultés rencontrées au démarrage ont conduit à prévoir un développement dans le temps de l'opération en trois grandes phases :
- une phase de prototypes (phase 1),
- une phase de diffusion au niveau de groupes organisés (phase 2),
- une phase de diffusion au niveau individuel (phase 3).

Ces trois phases doivent permettre à l'administration (qui est à l'origine, qui pilote et qui supervise l'opération) de passer progressivement la main au secteur privé pour la plupart de ces attributions en s'assurant que le niveau de qualité des produits (les blocs de terre comprimée puis les ouvrages réalisés au moyen de ceux-ci) est obtenu.



#### 2.1 - Fonctions de la phase 1

La phase prototype a quatre fonctions : démonstrative, technique, économique et formatrice.
**La fonction démonstrative** concerne les personnes habitant sur place.
Le premier groupe-cible est celui des autorités locales et de toutes les personnes possédant un pouvoir administratif et réglementaire ; il s'agit de les persuader par l'exemple de l'importance et des objectifs de l'opération.
Le second groupe-cible est celui des constructeurs : entrepreneurs, mâalem, artisans, auto-constructeurs, etc... Ils connaissent souvent assez bien le matériau de construction, mais, en général, mis en oeuvre sous forme de pisé ; il s'agit donc de les sensibiliser à la nouvelle technologie des blocs de terre comprimée et à l'intérêt qu'ils peuvent y trouver.
Le dernier groupe cible est celui de la population en général. Elle est moins bien avertie que le premier groupe sur le plan culturel et que le second sur le plan technique. Cependant, elle a souvent une connaissance pratique et quotidienne des constructions en terre en tant qu'utilisatrice de ces dernières, très répandues dans la région.

**La fonction technique** intervient à plusieurs niveaux : conception des bâtiments, production et mise en oeuvre des blocs. A l'occasion des réflexions préliminaires menées en lien avec les premières délégations de l'Habitat pour la réalisation de leurs prototypes, un ensemble de documents abordant les points ci-dessus a été rédigé par la DCTC et diffusé. Ces documents mettent en évidence l'importance que l'on doit attacher à la phase de conception des bâtiments, seule façon de minimiser les éventuels problèmes de mise en oeuvre. Les délégations qui jouent les rôles de maîtres d'ouvrage et maître d'oeuvre sont épaulées par la DCTC dans la phase 1 de l'opération.

**La fonction économique** de cette première phase découle du fait même que les constructions sont des prototypes ; dans la mesure où les prototypes sont construits en régie, directement par le maître d'ouvrage ou par une entreprise contrôlée par lui, il est possible de cerner avec une précision suffisante les prix de revient des constructions en blocs de terre comprimée. Le problème restant à surmonter est de trouver les partenaires acceptant un marché en régie, la réalisation de constructions en régie par le maître d'ouvrage se heurtant à des problèmes souvent graves de disponibilité budgétaire.

**La fonction formatrice** joue à plusieurs niveaux. Pour les délégations de l'Habitat, il s'agit d'un rodage à une maîtrise d'ouvrage particulière sur des constructions intégrant des matériaux locaux et des technologies de mise en oeuvre innovantes ; pour les entrepreneurs, les prototypes représentent une opportunité d'apprentissage de

nouvelles technologies, et ce, au moindre risque, puisque les marchés prototypes sont toujours d'un faible montant vu leur modeste ampleur physique.

2.2 - Fonctions et opérateurs de la phase 2

La fonction générale de cette phase est celle de relais entre la phase prototype que l'Administration contrôle totalement dans tous ses aspects et celle de la diffusion au niveau individuel qui est l'objectif final de l'opération.
Cette fonction d'intermédiaire est surtout importante en matière de formation ; les "groupes organisés" auront bien joué leur rôle s'ils se révèlent pépinières de petits constructeurs indépendants qui décideront de se mettre à leur compte pour construire pour eux-mêmes ou pour leur entourage social.
Concrètement, la phase 2 devrait voir le retrait quasi-complet de la DCTC et la prise en charge des diverses tâches qui lui incombaient par les délégations provinciales de l'Habitat.

On peut repérer trois grandes catégories de groupes organisés : la coopérative de production et de construction, l'entreprise privée classique, l'organisme public de construction.

Pour les coopératives, le meilleur exemple est celui de celle qui s'est spontanément constituée à El Kalaa des M'Gouna pour la réalisation d'une kissaria. Ses membres sont extrêmement motivés ; de plus, comme cette bourgade est construite presque totalement en pisé, ils sont familiers de la terre comme matériau de construction bien que, commerçants et artisans en général, ils ne soient pas des "techniciens" du bâtiment. Par ailleurs, la coopérative compte aussi quelques mâalem.

L'entreprise est techniquement plus souhaitable que la coopérative sur les points suivants :

- identification et détermination de l'aptitude à l'emploi de la (des) terres(s) de construction. En effet, l'entreprise peut posséder le petit matériel de base nécessaire aux analyses ; en outre, elle a des contacts nécessaires avec le laboratoire pour les études plus difficiles (sédimentométrie, analyse chimique) ;

- organisation du chantier. C'est en effet à ce niveau qu'on trouve les plus gros gisements de productivité et donc de bénéfice ; il est certain qu'une entreprise trouvera rapidement les démarches conduisant à une organisation optimale.

Mais l'exécution des travaux par entreprise pose aussi un problème difficile en matière de lancement des travaux. Il faut rédiger un cahier



des charges et passer un marché ; or ce genre de document et cette procédure conviennent mal à l'emploi de matériaux locaux et de technologies innovantes.

Pour ce qui est de l'organisme public de construction, on pense bien entendu à la Promotion Nationale dont le nom a été plusieurs fois évoqué à l'occasion de l'opération "Bni darek". En comparaison avec les coopératives de production et de construction ainsi que les entreprises privées classiques, on s'aperçoit que l'organisme public de construction cumule plus les inconvénients que les avantages pour l'exécution des travaux.
En effet, la technicité n'est a priori pas plus élevée que pour les coopératives, et la motivation pas plus grande que dans les entreprises privées puisqu'il n'y a pas plus de lien direct entre le personnel d'exécution et l'ouvrage à bâtir ; le problème du contrôle reste donc aussi entier.
L'intervention d'organismes tels que la Promotion Nationale dans l'opération "Bni darek" n'apparaît pas souhaitable, au moins au niveau de travaux techniques comme la fabrication des blocs de terre et leur mise en oeuvre. Par contre, elle est peut-être possible pour des travaux en carrière, pour des creusements de tranchées d'assainissement, etc... mais ceci sort un peu du cadre de ce document.

2.3. Fonctions de la phase 3

Dans le développement de l'opération "Bni darek", la phase de diffusion individuelle n'a pas de fonction à proprement parler puisqu'elle en représente l'objectif final.
Globalement, on peut espérer d'une phase de diffusion réussie :
-une amélioration de la qualité et de la durabilité des logements ;
-une élévation du niveau technologique dans la construction, et par suite dans une partie de la population ;
-la création de nombreuses activités liées de près ou de loin au bâtiment et pourvoyeuses d'emplois, donc une densification du tissu économique et un ralentissement de l'exode rural.

## 3 - Conclusions

L'Opération Nationale de Construction en Terre n'en est qu'à ses débuts. Il est trop tôt pour formuler une appréciation définitive ; toutefois, les actions menées dans cinq provinces pour les études préliminaires (études géotechniques, plans d'avant-projet) et dans celle de OUARZAZATE et de TAROUDANT pour les débuts de l'exécution des premiers chantiers prototypes, ont conduit aux observations suivantes qui, toutes, ressortent de la maturité de l'idée même de l'opération :

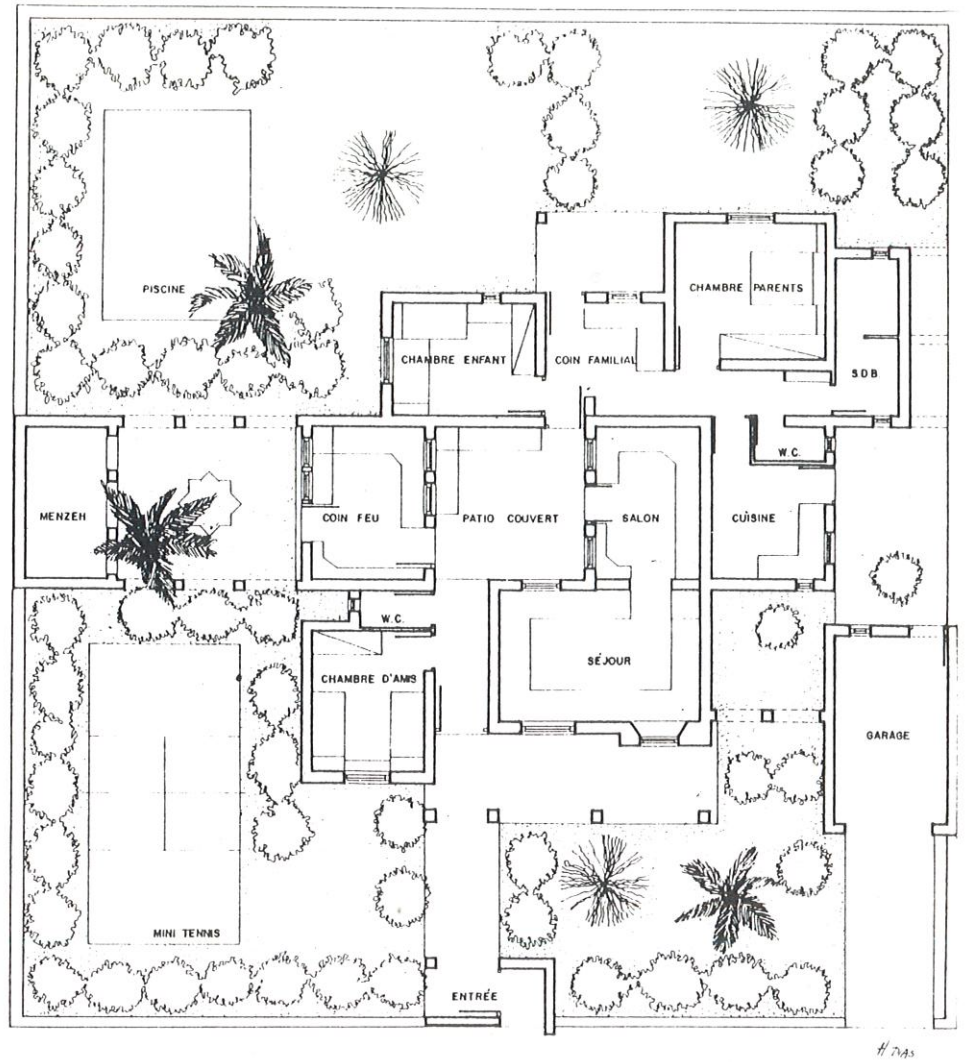
La première observation concerne le financement de l'opération :

La principale caractéristique de l'Opération Nationale de Construction en Terre est de faire appel, dans sa troisième phase, à l'auto-construction. Ce mode de production de bâtiment est, surtout en zone rurale, assez bien adapté aux capacités financières des populations ; en effet, les possibilités d'épargne sont suffisantes compte tenu du faible coût des constructions et il existe des organismes aptes à aider les particuliers dans un tel investissement.
Mais, si dans la troisième phase, l'opération n'a pas besoin de financement spécifique soutenu par les pouvoirs publics, il n'en est pas de même pour la première phase et, dans une moindre mesure, pour la deuxième.
L'effet démonstratif recherché auprès des institutions ou des personnes morales ou physiques notables implique une maîtrise d'ouvrage institutionnelle ; celle-ci agit dans un contexte économique organisé qui fait appel, dans la plupart des cas, à des financements bancaires ou d'Etat. De plus, outre la construction proprement dite, les actions d'accompagnement telles que nous les avons exposées plus haut (sensibilisation, formation...) doivent être budgétées.
Ainsi, ne pas tenir compte des besoins de financement spécifiques pour une telle opération, la voue à une inertie certaine, chaque étape ne pouvant être engagée qu'après la mise en place de financements appropriés. Une programmation financière est donc indispensable.

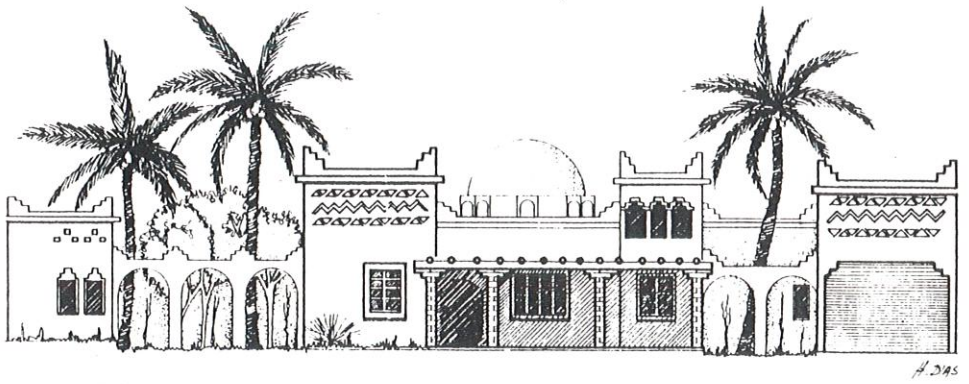
La deuxième observation concerne l'encadrement.

Liés au financement, les problèmes d'encadrement sont nombreux : d'une part, un encadrement préalable à l'opération pour la bonne réussite de la phase prototype, d'autre part, un encadrement continu le long des phases suivantes. Le second type d'encadrement est d'ailleurs une suite logique au premier. Il y a nécessité d'organisation globale en la matière.
On peut remarquer que lors de la première phase, l'encadrement sera surtout axé vers la maîtrise d'ouvrage ; les phases suivantes devront privilégier un encadrement technique, la maîtrise d'ouvrage dans l'auto-construction prenant une dimension beaucoup plus restreinte. Un petit nombre d'intervenants seront donc formés en matière administrative, un grand nombre en matière technique, et ceci de façon décalée dans le temps ; de ce grand nombre d'agents formés ou à former découle l'une des principales difficultés de l'opération.





M. ZAGROUJ, architecte



## LA DYNAMIQUE DES PROJETS TERRES

## L'OPERATION DE TAN-TAN DE L'OMNIUM MAROCAIN DE PECHE (OMP)

D'apès une notice descriptive communiquée par M. Djilali NAJMI, architecte de l'opération pour le compte de l'OMP.

### Présentation générale du projet

Dans le cadre du développement des provinces sahariennes, le gouvernement marocain a décidé l'aménagement et la construction de ports dans plusieurs villes. Tan-Tan est l'un des sites retenus pour aménager un port de grande capacité qui sera situé à 350 km au sud d'Agadir et à 300 km au nord de Laayoune. L'Omnium Marocain de Pêche (OMP) a choisi d'édifier à Tan-Tan Plage (25 km), un important complexe de pêche de transformation de poisson, ainsi qu'un chantier de construction et de réparation navale. Afin de fixer son personnel, l'OMP réalise parallèlement un ensemble immobilier de 500 logements dotés d'équipements de proximité, qui sont destinés aux ouvriers de bas revenus ; ils sont programmés dans le cadre d'un crédit long terme (location-vente 25 ans).

### L'utilisation de la terre comme matériau de construction

Plusieurs propositions ont été présentées (plâtre sur grillage, agglos de ciment) qui n'ont pas été retenues car trop coûteuses par rapport aux objectifs poursuivis : la construction de logements rudimentaires devant s'inscrire dans la 5ème ligne de financement BIRD dont le coût était d'environ 37.000 DHS pour 27 m2 couverts. Dans cette optique de réduction optimale des coûts les opérateurs du projet de Tan-Tan Plage se sont appuyés sur deux points forts :

1.Réduire le coût tout en proposant des logements adaptés au mode de vie local. Pour cette raison l'OMP a créé sa propre entreprise de construction : "COPROSUD" (construction et promotion du sud).

2.Utiliser un matériau disponible sur place, faiblement consommateur d'énergie et d'eau, en utilisant le savoir-faire local,
L'exemple est pris à Tan-Tan même où une grande partie du patrimoine architectural est construit en briques de terre crue, fabriquées après le débordement de l'Oued Ben Khil ; on y trouve également un peu de pisé.
Le choix de technique s'est porté sur le matériau terre, et particulièrement sur la brique comprimée.



La brique obtenue à Tan-Tan est un bloc de terre hypercomprimée et stabilisée à 3 % de ciment.
- les blocs sont employés dans la construction comme éléments porteurs,
- le logement construit avec ce bloc comprend deux pièces principales, une cuisine dans le hall, une salle d'eau, un patio et une cour d'entrée, soit une surface totale de 41 m2 couverts.

### Les coûts actuellement connus

La mise en place d'une filière terre locale, à Tan-Tan a demandé une longue période d'adaptation et a exigé une formation des maçons qui s'est faite sur des chantiers de construction prototypes. Actuellement, la qualité des logements construits mérite d'être remarquée.

En effet, tout en respectant le prix plafond du logement social (37.000 DHS), les familles peuvent occuper un logement de 41 m2, couverts au lieu des 27 m2 initialement prévus, qui correspond à leur mode de vie traditionnel. On remarquera que cette performance économique a été obtenue le temps de la mise en place et du rôdage de la filière terre locale, soit depuis novembre 1985 qui correspond au début des opérations de construction en terre à Tan-Tan plage.

Quelques résultats de coûts :

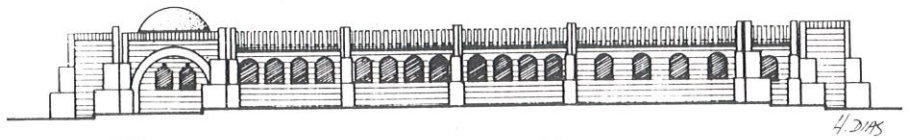
| Ouvrages | surface couverte | coût au m2 | date |
|---|---|---|---|
| 8 villas OASIS (standing) | 640 m2 | 1.875 | juin 86 |
| 16 logements AGDAL (économique) | 736 m2 | 1.177 | 1987 |
| 4 villas OASIS (standing) | 320 m2 | 1.845 | 1987 |
| 4 logements AGDAL (économique) | 184 m2 | 912 | 1987 |
| Ecole | 1.100 m2 | 1.029 | 1987 |

On remarquera une réduction de près de 50 % des coûts au m2 sur cette période de rodage d'un an et demi.

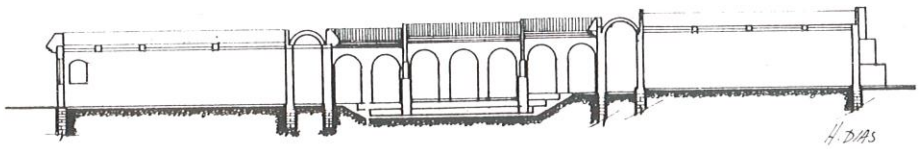
L'opération de Tan-Tan Plage ne compte pas seulement la réalisation de logements mais également des équipements publics et collectifs tels que école et mosquée (voir documents graphiques en illustration jointe).

PROJET D'ECOLE A TAN-TAN.
Maîtrise d'ouvrage : COPROSUD, filiale de l'omnium marocain de pêche.
Architecte: Jilali NAJMI. Construction : 1986-1987.

FACADE SUD




FACADE EST




COUPE

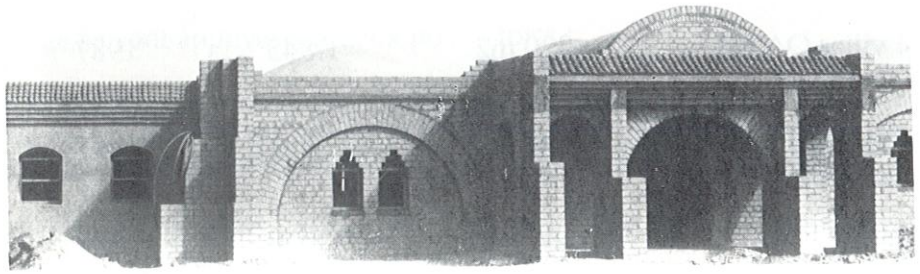
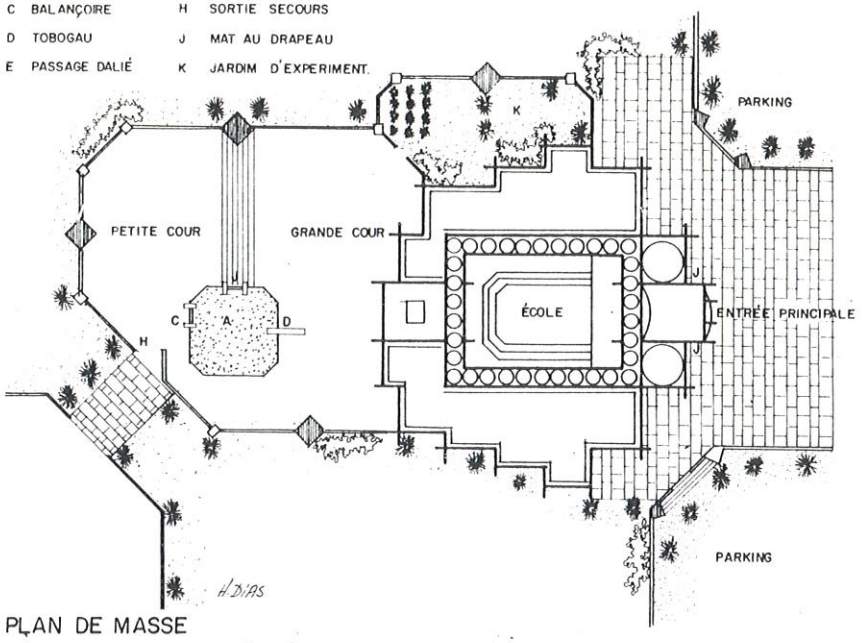


photo : J. NAJMI

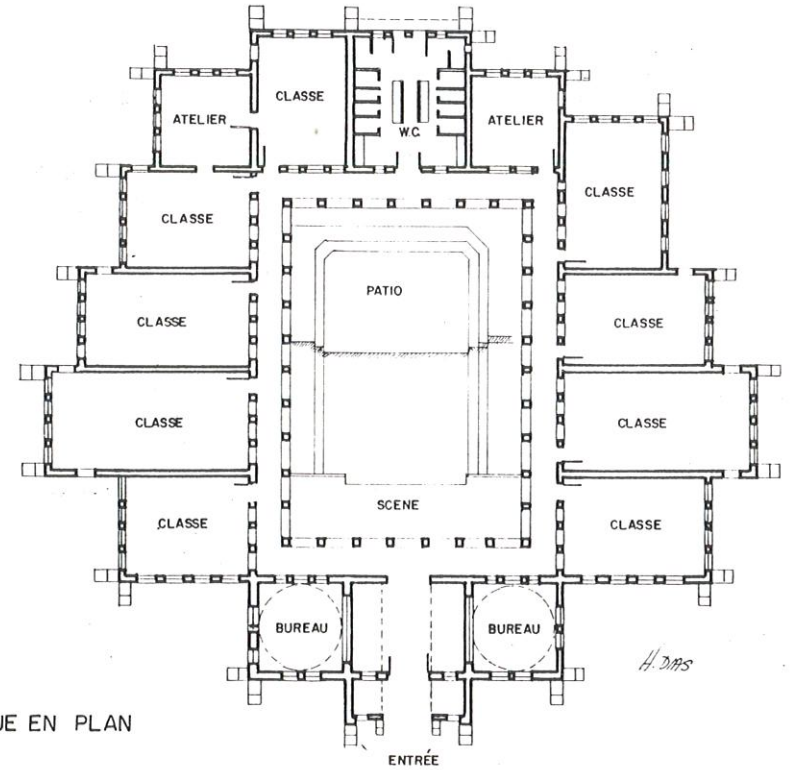


A BAC A SABLE
B TOURNIQUET
C BALANÇOIRE
D TOBOGAU
E PASSAGE DALIÉ
F ARBRE
G BAC A PLANTES
H SORTIE SECOURS
J MAT AU DRAPEAU
K JARDIM D'EXPERIMENT.



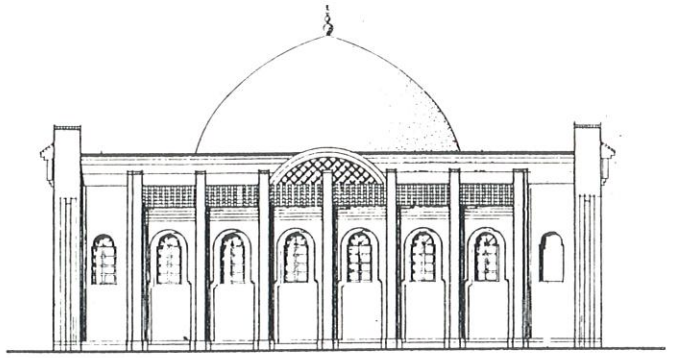

PLAN DE MASSE

PROJET D'ECOLE A TAN-TAN
J. NAJMI, architecte

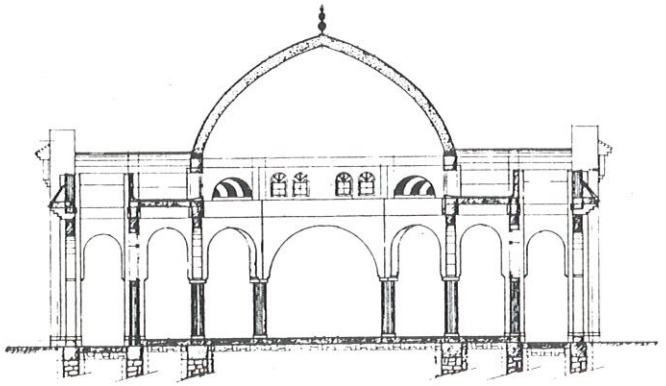



VUE EN PLAN

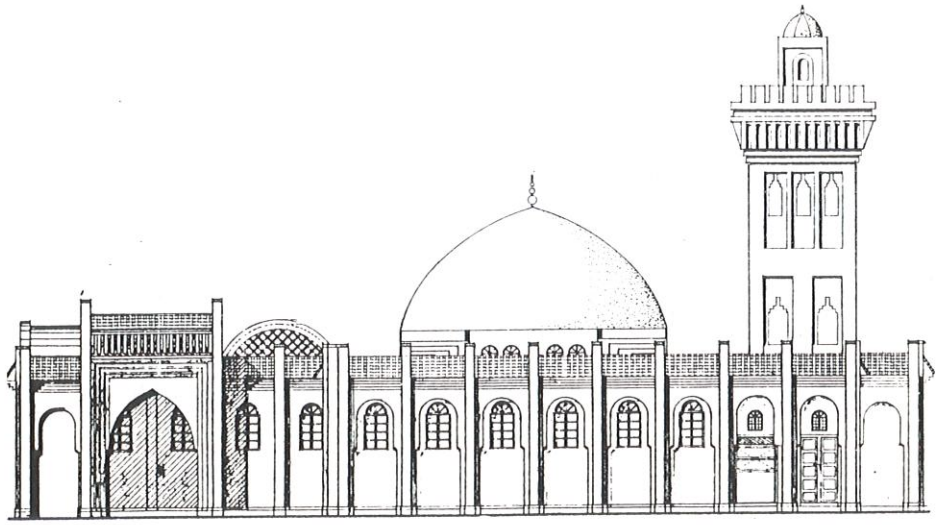
CONSTRUCTION D'UNE MOSQUEE
TAN-TAN PLAGE
J. NAJMI, architecte



FACADE LATERAL



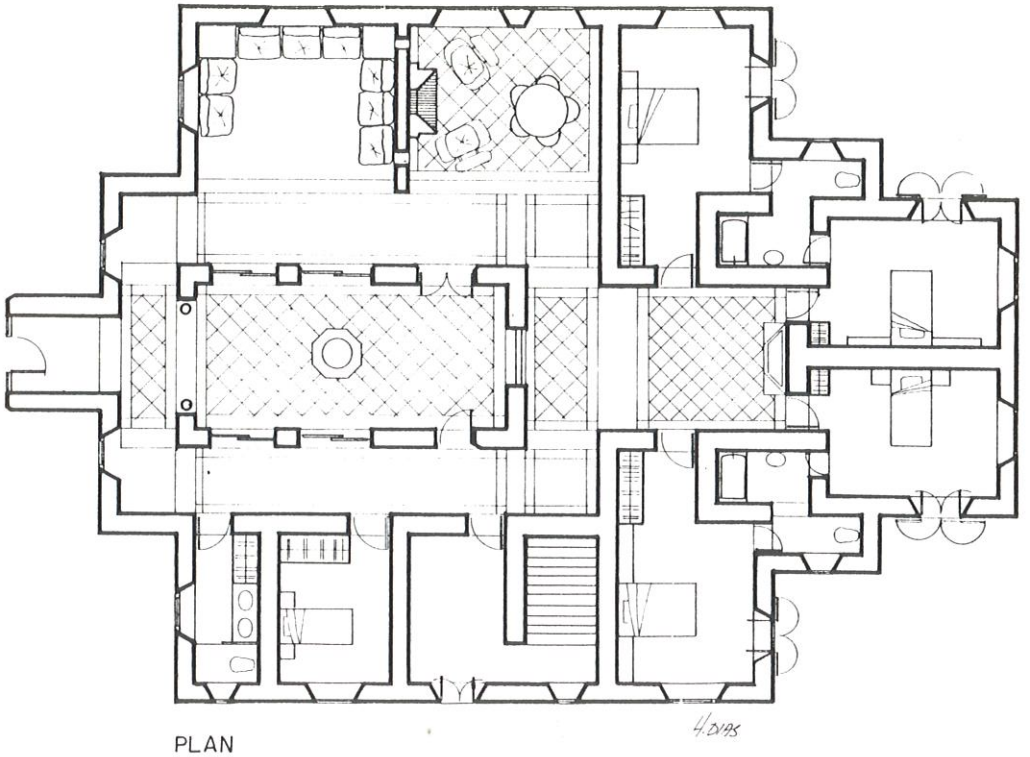
COUPE



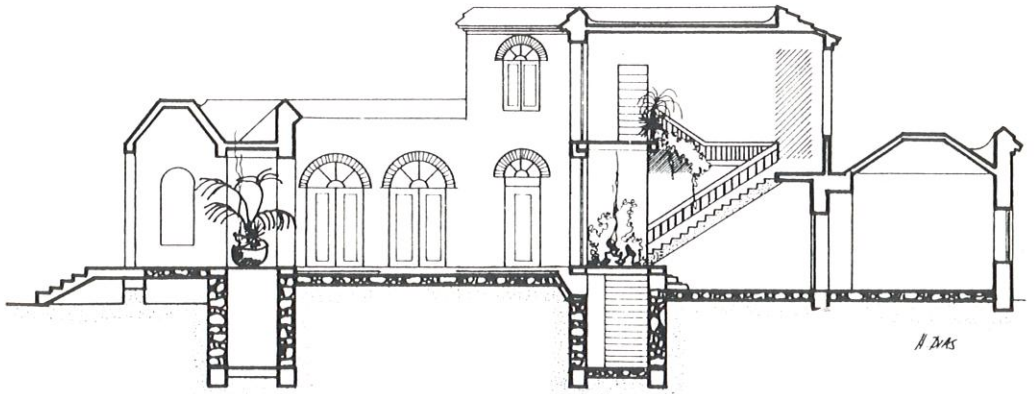
FACADE PRINCIPAL



VILLA DE M. LARAKI. Palmeraie de Marrakech. Architecte : Malak LARAKI, Marrakech. Chantier : 1986-1987.



PLAN



COUPE

# ANNEXES

## A.1. LE PROGRAMME INITIAL DE L'OPERATION

### Cahier des charges général

Le programme initial de l'opération "Marrakech, Habitat en Terre" concerne la réalisation de 60 logements en terre, en trois tranches distinctes de 20 logements, destinés à des clientèles sociales variées: de l'habitat semi-rural à l'habitat urbain de standing. Ces trois tranches de logements correspondent aux catégories courantes des programmes du Crédit Immobilier Hotelier, l'un des pincipaux financeurs de la construction marocaine, soit de la catégorie 2 pour le projet en zone semi-rurale (logements "intermédiaires" d'un coût 87 de l'ordre de 850 DH / $m^2$ et de la catégorie 3 et 4 pour les projets en milieu péri-urbain et urbain (logements "moyen standing" et "standing", respectivement d'un coût 87 de 1150 et 1400 DH / $m^2$). L'utilisation de la terre comme matériau de construction, sous forme de pisé banché ou de blocs de terre comprimée, de systèmes constructifs variés, est associée à une volonté de démonstration exemplaire. Les responsables de l'opération visent une actualisation de la construction en terre en deux temps:

- à court terme, en s'appuyant tout d'abord sur la réalisation d'un marché de construction de prototypes, en régie contrôlée, dans le cadre d'un appel d'offres restreint qui correspond à environ 1/1O du marché global (2 prototypes par tranches distinctes). Cette phase prototype permet d'actualiser le savoir-faire et les techniques, de surmonter les préjugés défavorables au matériau terre et de produire un impact psychologique par le caractère exemplaire de la première phase. Elle offre aussi l'avantage d'ajuster la conception architecturale et les modes de mise en oeuvre des projets et de préparer les outils techniques de référence (cahiers des charges et prescriptions techniques et spéciales, recommandations) qui serviront à l'établissement du marché final.

- à moyen terme, en réalisant la masse globale du marché dans le cadre d'un appel d'offres au forfait largement ouvert afin d'intégrer pleinement les conditions d'exercice technique, social et économique de la construction en secteur formel. Cette deuxième phase permet de préciser les modèles techniques et architecturaux de conception et d'exécution et d'intégrer la construction en terre dans les circuits économiques en vue de réaliser des programmes plus importants. Les coûts visés sont ceux des catégories de logements correspondantes avec une moyenne correspondant à l'habitat de moyen standing

couramment construit par un maître d'ouvrage public en secteur en secteur formel, soit + ou - 1000 DH / $m^2$.

## Cahier des charges d'expérimentation de l'opération

Le programme interministériel REXCOOP (Recherches Expérimentales en Coopération) finance les surcoûts d'études et d'expérimentation et fixe, en accord avec le maître d'ouvrage un cahier des charges d'expérimentation qui constitue une recherche appliquée en vraie grandeur, notamment destinée à améliorer les techniques et les modes de mise en oeuvre et les sytèmes constructifs. Les thèmes de recherche et d'expérimentation prioritaires, proposés aux équipes de conception des projets sont les suivants:

- toitures et planchers:
.structures: portées courtes et libération des espaces,
.étanchéité: protection des toitures et durabilité,

- protection de surface:
.protection de nature architecturale adaptée au matériau terre,
.qualité des enduits, badigeons et peintures : composition, dosages, préparation des supports et modes d'application,

- accessibilité, faisabilité technique et économique:
.production à moyen terme d'un habitat économique,
.souci d'économie dans les choix techniques et architecturaux,
.simplicité des systèmes constructifs et des modes de mise en oeuvre
.suivi analytiau du chantier: rendements, dépenses.





# A.2 PARTENAIRES DE L'OPERATION ET ADRESSES UTILES

## A.2.1 Partenaires de l'opération et leurs adresses

### Maîtrise d'ouvrage

.Ministère de l'Habitat, BP Rabat-Chellah, Rabat, Maroc.

.Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction de la Région du Tensift (ERAC-Tensift), place du 16 novembre, Marrakech, Maroc.

-M. Mohamed Nafakh Lazraq, directeur
-M. Mohamed Amine Kabbaj, responsable du Département des Etudes
-M. Jamaldine Hmami, responsable du Service des Etudes Techniques
-M. Malek Latifi, ingénieur

### Maîtrise d'ouvrage du programme de recherches expérimentales, Financement des Etudes

.Programme interministériel de Recherches Expérimentales en Coopération (REXCOOP), des ministères de l'Equipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, Ministère des Affaires Etrangères et Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur.

-M. Daniel Biau, Secrétaire Général du Programme REXCOOP, Plan-Construction et Habitat, 1 rue François 1er, 75008 Paris.

### Coordination Générale de l'Assistance Architecturale et Technique

.CRATerre, Centre International de Recherche et d'Application pour la Construction en Terre
-Ecole d'Architecture de Grenoble, 10 galerie des Baladins, 38000 Grenoble, France
.M. Patrice Doat, professeur, président du CRATerre
.M. Hubert Guillaud, architecte-chercheur, secrétaire général du CRATerre

-BP 53, 38090 Villefontaine, France
.M. Hugo Houben, ingénieur-chercheur.

## Assistance au suivi des opérations

.GAITerre, Groupement des Architectes et Ingénieurs Terre de Marrakech, BP 722, Marrakech Gueliz, Maroc
-Mme Malak Laraki, architecte, présidente du GAITerre,
-M. Mohamed Boulali, architecte
-M. Jamaldine Hmami, architecte
-M. Mohamed Amine Kabbaj, architecte
-M. Michel Kergreis, architecte-urbaniste SFU
-M. Malek Latifi, ingénieur.

## Maîtrise d'oeuvre du projet

.Projet Ait Ourir
-Mme Malak Laraki, architecte
Résidence Imlil, avenue Echouada, Marrakech Hivernage, Maroc
-M. Abdelkader Chekkouri, architecte`,
19 rue de Yougoslavie, Marrakech, Maroc

.Projet Hay al Massira
-M. Abderrahmane Chorfi, architecte
13, rue Moulay Rachid, Rabat, Maroc

.Projet Koutoubia
-M. Abderrahmane Sigelmassi, architecte
174, boulevard Zerktonni, Casablanca, Maroc

## Assistance à la maîtrise d'oeuvre sur APS

.Projet Ait Ourir
-Mme Régine Chareyre, architecte ; M. Jean-Luc Pagnier, architecte
120, rue Mazenod, 69003 Lyon, France

.Projet Hay al Massira
-M. Jean-Vincent Berlottier, architecte
19, rue Alsace Lorraine, 01000 Bourg-en-Bresse, France

.Projet Koutoubia
-MM. Paul Wagner et Nicolas Widmer, architectes
Route de Sainte Marguerite, 05000 Gap, France

## Administrations et organismes du contrôle technique

.DCTC, Direction du Contrôle Technique de la Construction
8, rue de Figuig, Rabat, Maroc
-M. Mohamed M'Barki, directeur du Contrôle Technique de la Construction



-M. Hassan Alaoui, ingénieur, responsable de la Division Recherche et Normalisation
-M. Jacques Chandellier, ingénieur à la DCTC
-M. Rachid Boukartacha, architecte à la DCTC

.LPEE, Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes,
25, rue d'Azilal, BP 389, Casablanca 01, Maroc
-M. Lahcen Nouari, chef du Centre d'Etudes du Bâtiment (CEB)
-M. Acharhabi, chef du Centre d'Etudes et de Recherche des Structures (CERS)
-M. Espresati, chef du Centre d'Etudes Physiques et Chimiques des Matériaux
-M. Naciri, centre d'Etudes Géotechniques
-M. Jacani, centre d'Etudes des Routes et Infrastructures de Transport
-M. Refass, directeur de l'ACREI
-M. Abderrahim Acharhabi, coordinateur du Centre d'Etudes et de Recherches Expérimentales sur les Matériaux et Structures (CEREM), structure informelle réunissant les potentialités Bâtiment des divers centres du LPEE.
-LPEE, délégation régionale de Marrakech
Place du 16 novembre, Marrakech, Maroc
-LPEE, délégation régionale de Fes
M. Demehati

## Bureau d'Etudes Techniques

Promoconsult, 174 boulevard Zerktouni, Casablanca, Maroc
-M. Soufiane Benyahia, ingénieur
-M. Bouhabdou, ingénieur

## Entreprises des opérations prototypes

.Projet Hay al Massira
-M. Elie Mouyal, architecte
ERCT BP 744, 158, avenue de Casablanca, Marrakech, Maroc

.Projet Ait Ourir
-M. Abdelfattah Karrakchou
SOTRECI, quartier industriel, Marrakech, Maroc.

## Assistance technique à la production des matériaux

.Société Alpine de Technologies Nouvelles,
ALTECH Terre Crue
Rue des Cordeliers, 05200 Embrun, France
-M. Daniel Turquin
-M. Olivier Turquin, gérant

. Procédés Modernes de Construction en Terre, PMCT/SA
290, boulevard Mohamed V, Rabat, Maroc
-M. Youssef Tazi, administrateur délégué

.M. André Accetta, ingénieur
18, rue de l'Alma, 42000 Saint-Etienne, France
ou
Ecole d'Architecture de St-Etienne, 1, rue Buisson, 42000 Saint-Etienne

### A.2.2 Autres opérateurs et adresses utiles

.Direction de l'Architecture et de l'Habitat
8, rue de Figuig, Rabat, Maroc
-M. Fikri Benabdellah, architecte, chef de service à la direction de l'Urbanisme

.Délégation Régionale de l'Habitat de Marrakech

.Délégation Régionale de l'Habitat de Ouarzazate
-M. Mamoun Zagrouj, architecte

.Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabbat
BP 6202 Rabat Instituts
-M. Mustapha Alaoui, chef du département des Sciences Humaines

.Société COPROSUD, Construction et Promotion du Sud,
Tour des Habous, 20ème étage, avenue des F.A.R., Casablanca, Maroc
-M. Toufiq Jorio, gestionnaire
-M. Jilali Najmi, architecte (peut être également contacté à l'adresse suivante :
110, galerie de l'Arlequin, n°320, 38100 Grenoble, France)

.Société Sofemi
26, boulevard Yakoub el Mansour, Casablanca, Maroc
-M. Toufiq Mestari, architecte-décorateur.

M. Boualil
Aménagement-Design
Immeuble Moulay Youssef, entrée 1, n° 18, Marrakech, Maroc





## A.3. BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE

### BIBLIOGRAPHIE GENERALE ET TECHNIQUE, FRANCAISE ET ETRANGERE (par ordre alphabétique)


A

-ADAM, J.A. et al., Architektur der Verganglichkeit Lehmbauten der Dritten Welt, München, (R.F.A.), Die Neue Sammlung Staadliches Museum für angewandte Kunst, 1981.
-ADOBE NEWS, Adobe codes from around the south west, Albuquerque, New Mexico, (U.S.A.), Adobe News, 1982.
-AGARWAL, A., Bâtir en terre, 116 p., London, (England), Earthscan, 1981.
-AGARWAL, A., Mud mud, London, (England), Earthscan, 1981.
-AGCD/CNUEH, International colloquium on earth construction technologies appropriate to developing countries, Proceedings, 186 p., Bruxelles, (Belgique), 1985.
-AGCD/CNUEH, International colloquium on earth construction technologies appropriate to developing countries, Conference papers, 423 p., Bruxelles, (Belgique), 1985.
-AGRA, Les carnets de la recherche architecturale, 171 p., Ecole d'Architecture de Grenoble, (France), 1986.
-AGO, F., Moschei in adobe: storia et tipologia nell'Africa Occidentale, 146 p., Roma, (Italia), Edizioni Kappa, 1982.
-ARCHER, J. and G., Dirt Cheap, The mud brick book, Melbourne, (Australia), Compendium Pty, 1980.
-ARZOUMANIAN, V. et BARDOU, P., Archi de terre, 103 p., Roquevaire-Marseille, (France), Editions Parenthèses, 1978.
-ARZOUMANIAN, V. et BARDOU, P., Archi de Soleil, Roquevaire-Marseille, (France), Editions Parenthèses, 1978.

B

-BARNS, C.G., The sod house, Lincoln-London, Bison book, University of Nebraska Press, (U.S.A.), 1970
-B.C.O.M., (Bureau Central des Equipements d'Outre-Mer), La construction en béton de terre, 65 p., Paris, (France), 1952.
-BOUDREAU, E.H., Making the adobe brick, 87 p., California, (U.S.A.), Fifth Street Press, 1974.

-BOURGEOIS, J.L. et PELOS, C., Spectacular vernacular: a new appreciation of traditional desert architecture, 110 p., Salt Lake City, (U.S.A.), Peregrine Smith Book, 1983.
-BUNTING, B. et al., Early architecture in New Mexico, 122 p., Albuquerque, (U.S.A.), University of New Mexico Press, 1974.
-BUNTING, B. et al., Taos adobes, Santa Fe, (U.S.A.), Fort Burgwin Research Center, Museum of New Mexico, 1975.
-BUNTING, B. et LAZAR, A., Of earth and timbers made, Albuquerque, (U.S.A.), University of New Mexico, 1975.
-BRBH, (Bureau des Recherches Bâtiments et Habitat), La protection des constructions en terre ou en terre stabilisée, 27 p., Dakar, (Sénégal), 1956.

## C

-CERDUNM, (Center for Environmental Research and Development of the University of New Mexico), A study of the feasability of mechanized adobe production in New Mexico; four corners regional commission, 50 p., Farmington, (U.S.A.), 1970.
-CINVA, Le béton de terre stabilisée et son emploi dans les travaux de construction, New York, (U.S.A.), United Nations, 1964.
-CINVA, Making building blocks with the Cinva Ram, 23 p., (U.S.A.), 1943.
-CLOUGH, R. H., A qualitative comparison of rammed earth and sundried adobe brick, 68 p., New Mexico, (U.S.A.), University of New Mexico, 1950.
-CONESCAL, avec CRATerre, Tecnologia de tierra y su applicacion en la construccion de espacios educativos, 80 p., Mexico D.F., (Mexico), 1982.
-COSTA, P. et VIGARO, F., Yemen, land of builders, London, 184 p., (England), Academy, 1978. Edition originelle en italien, Milano, (Italia), Electra, 1977.
-CRATerre - AGRA, Recommandations pour la conception des bâtiments du quartier experimental de l'Isle d'Abeau, Paris, 205 p., (France), Plan Construction, Ministère de l'Urbanisme et du Logement, 1981.
-(CRATerre), DOAT, P., HAYS,A., HOUBEN, H., MATUK, S., VITOUX, F., Construire en terre, 286 p., Paris, (France), Editions Alternatives, 1979, ré-éditions actualisées en 1983 et 1985.
-CRATerre-Groupe Pisé-CAUE de l'Ain, L'architecture de terre: bâtiments caractéristiques de la Région Rhône-Alpes, 176 p., Lyon, (France), SME Résonances, 1983.
-CRATerre, Seguir construyendo con tierra; realidad socio-economica de la construccion con tierra en zona andina, valle del Rio Mantaro, 310 p., Lima, (Peru), Mesa Redonda Editores, 1984.



-CRATerre, HOUBEN, H. et GUILLAUD, H., Earth construction primer, Bruxelles, (Belgique), CRATerre/PGC/CRA/UNCHS/AGCD, 1984, 361 p.
-CRATerre-CSTB/MRT, Les actions futures du réseau terre français, volume I, 144 p., Grenoble, (France), 1985.
-CRATerre, Tecnicas mixtas de construccion con tierra, 159 p., Grenoble, Paris, (France), REXCOOP, 1986.
-CRATerre-ENTPE, Construction en terre crue: les matériels français, 81 p., Grenoble, Paris, (France), AFME-Plan Construction, 1987.
-CRATerre, HOUBEN, H. et GUILLAUD, H., Traité de construction en terre, 370 p., Marseille, (France), Editions Parenthèses, 1987.
-CRET, Centre Régional d'Etudes Techniques, Maisons en terre, Paris, (France), 1956.
-CRET, Centre Régional d'Etudes Techniques, Bâtir en terre, 157 p., Paris, (France), 1962.
-CREUSET, (Centre de Recherches Economiques de l'Université de Saint Etienne), ENA, (Ecole Nationale d'Architecture de Rabat, équipe "Economie de la Construction"), Atelier d'Architecture CHAREYRE-PAGNIER (Lyon), Economie de la Construction au Maroc, REXCOOP, Paris, (France), janvier 1986, 254 p.
-C.S.T.B., Documents techniques du REEF, DTC 2002, 4 p., DTC 2101, 6 p., et DTC 2102, 3 p., Paris, (France), C.S.T.B., 1950.

## D

-DANSOU, P.A., la terre stabilisée, matériau pour la construction des maisons, 45 p., (Togo), Ministère des Travaux Publics, Mines, Transports, Routes et Télécommunications, 1972.
-DENYER, S., African traditional architecture, 210 p., New York, (U.S.A.), Africana, 1978.
-DELAVAL, B., La construction en béton de terre, 18 p., Alger, (Algérie), LNBTP, 1971.
-DELONG, H.H., Rammed Earth Walls, 19 p., South Dakota, (U.S.A.), South Dakota State College, 1959.
-DETHIER, J., Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, Paris, (France), Centre de Création Industrielle-Centre National d'Art et de Culture Georges Pompidou, 1981, existe en version italienne (Milano, Ed. Electra, 1982), espagnole (Rio de Janeiro, Avenir Editora Limitada, 1984), anglaise (London, Thames and Hudson, 1982), allemande (München, Prestel, 1982), portuguaise (Caracas, Venezuela, 1985).
-DETHIER, J., Architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, Europe, Tiers Monde, Etats Unis, 224 p., (Paris), France, Editions du Centre Georges Pompidou, 1987 (ré-édition actualisée du catalogue de l'exposition du CCI de 1981).

-DHUD, (Department of Housing and Urban Development), Earth for homes, 70 p., Washington, (U.S.A.), 1955.
-DREYFUS, J., Manuel de constructions en béton de terre stabilisée, 85 p., Dakar, (Sénégal), Bureau des Recherches Bâtiment et Habitat, 1954.
-DUFOURNET, P. et FLORENTIN, Maisons en béton de terre stabilisée, circulaire série D n°12, 18 p., Paris, (France), ITBTP, 1945.
-DUFOURNET, P., Une expérience de construction en béton de terre stabilisée, Paris, (France), Cahier n° 81 du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1950.

## E

-EASTON, D., The rammed earth experience, 73 p., Wilseyville, California, (U.S.A.), Blue Mountain Press, 1982.
-EASTWICK, F. et CLOUGH, W.E., Building in cob, pisé and stabilized earth, 164 p., London, (England), London Country Life Limited, 1947.
-ENTPE-Formequip, Université Jean Moulin Lyon III, Faculté des Lettres et Civilisations de Lyon, Le patrimoine européen construit en terre et sa réhabilitation, 583 p., édition provisoire des conférences du séminaire de Vaulx en Velin , (France), de mars 1987, ENTPE, 1987.
-EPIDA et GREZES, D., Maisons de terre dans la ville nouvelle de l'Isle d'Abeau: présentation des projets, 63 p., Isle d'Abeau, (France), Epida, 1984.

## F

-FATHY, H., Construire avec le peuple, 310 p. et Annexes, 55 p., Paris, (France), Editions J.Martineau, 1970. Version anglaise, Architecture for the poor, Chicago, (U.S.A.), University of Chicago Press, 1973.
-FAUTH, W., Der Praktische Lehmbau, 130 p., Wiesbaden, (R.F.A.), Limes Verlag, 1946.
-FITZMAURICE, R., Manuel de construction en béton de terre stabilisée, 132 p., New York, (U.S.A.), United Nations, 1958.
-FRESCURA, F., Rural shelter in southern Africa, Pretoria, (South Africa), Sigma Press, 1981.

## G

-GALDIERI, E., Le meraviglie dell'architettura in terra cruda, Roma, (Italia), Editori Laterza, 1982.



-GARDI, R., Maisons africaines: l'art de bâtir en Afrique Occidentale, 250 p., Paris-Bruxelles, (France-Belgique), Elsevier-Sequoia, 1974.
-GARRISON, P., How to build adobe houses, (U.S.A.),Tab Books, Blue Ridge Summit, 1979.
-GATE, Lehmarchitektur, Rüblick-Ausblick, Frankfurt am Main, (R.F.A.), Gate, 1981.
-GLENN, H.E., Rammed earth building construction, 23 p., Clemson, (U.S.A.), Department of Civil Engineering, 1943.
-GRAY, V. et MACRAE, A., Mud space and spirit, Santa Barbara, California, (U.S.A.), Capra Press, 1976.
-GRESILLON, J.M., Etude sur la stabilisation et la compression des terres pour leur utilisation dans la construction, 14 p., Paris, (France), Annales de l'ITBTP, Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 1976.
-GROBEN, E., Adobe architecture, Ets Design and construction, 24 p., Department of Agriculture, (U.S.A.), 1941.

## H

-H, "Terre d'Avenir", 119 p., numéro spécial de la revue de l'Union Nationale des HLM, Paris, (France), n°111, octobre 1985.
-HOLMES, Mud brick roofs, 9 p., Washington, (U.S.A.), International Housing Service, 1957.
-HOOG, A.H.A., A guide to the hill-fords of Britain, 304 p., London, (England), Granada Publisher, 1984.
-HOPSON, R.C., Adobe, a comprehensive bibliography, Santa Fe, New Mexico, (U.S.A.), The Lightning Tree, 1980.

## I

-IIHT, (International Institute of Housing Technology), The Manufacture of asphalt emulsion stabilized soil bricks and bricks makers manual, 79 p., Fresno, California, (U.S.A.), IIHT, 1972.
-IZARD, J.L., Archi Bio, Roquevaire-Marseille, (France), Editions Parenthèses, 1979.

## J

-JEANNET, J., POLLET, G., SCARATO, P., Le pisé, patrimoine, restauration, techniques d'avenir, 108 p., Nonette, (France), Editions CREER, 1986.

## K

-KAHANE, J., Local materials : a self builder's manual, 200 p., London, (England), Publication Distribution Co-Operative, 1978.
-KERN, K., The owner built home, New York, (U.S.A.), Charles Scribner's Sons, 1975.
-KERN, K., Rammed Earth, California, (U.S.A.), Owner Builder Publications California, 1980.

## L

-LENDER, H. et NIERMANN, M., Mehmarchitektur in Spanien und Africa, (R.F.A.), Karl Robert Langewiesche, 1980.
-LEWIS, M., Victorian Primitive, Carlton, Victoria, (Australia), Greenhouse Publisher, 1977.
-LITTLE, A.D., Demonstration of stabilized mud bricks in egyptian village housing, 58 p., Washington, (U.S.A.), U.S. Department of State, 1953.
-LUMPKINS, W., Adobe, past and present, Albuquerque, New Mexico, (U.S.A.), University of New Mexico Printing Plant, 1974.
-LUMPKINS, W., Casa del Sol, Santa Fe, New Mexico, (U.S.A.), Santa Fe Publishing Company, 1981.

## M

-Mc HENRY, P.G., Adobe, build it yourself, Tucson, Arizona, (U.S.A.), The University of Arizona Press, 1974.
-Mc HENRY, P.G., Adobe and rammed earth buildings, New York, (U.S.A.), John Wiley and Sons, 1984.
-MERRIL, A.F., The rammed earth house, 280 p., New York, (U.S.A.), Harper and Bros, 1947.
-MIDDLETON, G.F., Build your house of earth, Victoria, (Australia), Compendium Pty, 1953 et 1979.
-MIDDLETON, G.F., Earth wall construction I, Choice of soil and methods of construction, 4 p., Sydney, (Australia), Commonwealth Experimental Building Station, 1951.
-MIDDLETON, G.F., Earth wall construction II, Rammed earth (pisé), 4 p., Sydney, (Australia), Commonwealth Experimental Building Station, 1951.
-MIDDLETON, G.F., Earth wall construction III, Adobe (Puddled earth), 4 p.,Sydney, (Australia), Commonwealth Experimental Building Station, 1951.
-MIDDLETON, G.F., Earth wall construction IV, Stabilized Earth, 4 p.,Sydney, (Australia), Commonwealth Experimental Building Station, 1964.





-MIDDLETON, G.F., Earth wall construction: pisé or rammed earth, adobe or ruddled earth, stabilized earth, 46 p., Sydney, (Australia), Commonwealth Experimental Building Station, 1952.
-MILLER, L. and D., Manual for building a rammed earth wall, 50 p., Greeley, Colorado, (U.S.A.), REII, (Rammed Earth International Institute), 1980.
-MILLER, L. and D., Rammed Earth, a selected world bibliography, Greeley, Colorado, U.S.A.), REII, (Rammed Earth International Institute), 1982.
-MINKE, G., Alternatives Bauen, Kassel, (R.F.A.), GHK, (Gesamthohschule Kassel), 1980.
-MINKE, G. (Directeur de publication), et al., revue "Bauen mit lehm", (périodicité semestrielle), éditée depuis 1984, n° 1 à 5, Friburg ou Kassel, (R.F.A.) ou GHK, (Gesamthohschule Kassel), 1984-1987.

## N

-NEUBAUER, L.W., Adobe construction methods, 32 p., California, (U.S.A.), University of California, Department of Civil Engineering.
-NEWCOMB, D.G., The owner-built adobe house, New York, (U.S.A.), Charles Scribner's Sons, 1980.
-NIEMEYER, R., Der Lehmbau, seine praktische "Anwendung", 158 p., Grebenstein, (R.F.A.), öko Buch Verlag, 1982.

## O

-O'CONNOR, J.F., The adobe book, Santa Fe, New Mexico, (U.S.A.), Ancient City Press, 1973.
-OLIVER, P., Shelter in Africa, London, (England), Barrie and Jenkins, 1971.
-OKIE, J.E., Block press handbook for making soil blocks with "Teck-block" press, 29 p., Kumasi, (Ghana), Faculty of Architecture, 1970.

## P

-PATTY, R.L. and MINIUM, L.W., Rammed earth walls for farms buildings agricultural experiment station, 63 p., South Dakota, (U.S.A.), South Dakota State College, 1945.

-PLAN CONSTRUCTION HABITAT, ENTPE, EPIDA, Actualité de la construction en terre en France, 225 p., actes du séminaire de Vaulx en Velin, de 1982, Paris, (France), Plan Construction et Habitat, 1983.
-PLAN CONSTRUCTION HABITAT, ENTPE, EPIDA, Modernité de la construction en terre, 523 p. actes du séminaire de Vaulx en Velin, de 1984, Paris, (France), Plan Construction et Habitat, 1986.

## S

-SCHNEIDER, J., Am anfange die Erde: sanfer baustoff lehm, 84 p., Frankfurt, (R.F.A.), Fricke im Rudolf Müller Verlag, 1985.
-SCHULTZ, K.,V., Adobe craft, illustrated manual, 72 p., Castro Valley, (U.S.A.), 1974.
-SCOGGINS, H., The portalab manual, Alamogordo, New Mexico, (U.S.A.), Appropriate Technology Program, 1982.
-SHARMA, S.K. and VASUDEVA, P.N., Making soil stabilized bricks, 32 p., Chandigarh, (India), Punjab Engineering College.
-SIMONNET, J. et BARRIERE, Ph., Constructions en géobéton dans la réserve d'Azagny en Côte d'Ivoire, 75 p., Abidjan, (Côte d'Ivoire), rapport de recherche n° RR 56, LBTP, Direction de la Recherche, 1984.
-SMITH, E.W., Adobe bricks in New Mexico, Socorro, (U.S.A.), New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, 1982.
-SMUH, Terre stabilisée, terre armée, 122 p., Paris, (France), SMUH, 1974.
-SOUTHWICK, M., Build with adobe, 225 p., Chicago, (U.S.A.), The Swallow Press, 1971.
-STEDMAN, M.L., Adobe architecture in New Mexico, 42 p., Santa Fe, New Mexico, (U.S.A.), The Sunstone Press, 1971.
-STEDMAN, M.L., Adobe remodeling, Santa Fe, New Mexico, (U.S.A.), The Sunstone Press, 1986.
-STULZ, R., Appropriate building materials, St. Gallen, (Suisse), SKAT, 1981.

## T

-TALIB, K., Shelter in Saudi Arabia, 144 p., New York, (U.S.A.), St. Martin Press et London, (England), Academy Editions, 1984.
-THOMAS, T. and EYRE, M.E., The physical properties of adobe used as a building material, 92 p., New Mexico, (U.S.A.), University of New Mexico.



## V

-VAN DRESSER, P., Home grown sundwellings, Santa Fe, New Mexico, (U.S.A.), The Lightning Tree, 1979.
-VOLHARD, F., Leichtlehmbau, alter baustoff, neue technik, 158 p., Karlsruhe, (R.F.A.), Verlag CF Müller, 1983.

## W

-WICHMANN, H., et al., Architektur der vergänglichkeit: lehmbauten der dritten welt, 254 p., Stuttgart, (R.F.A.), Birkhäuser Verlag et Bâle, (Suisse), Toronto, (Canada), 1983.
-WIENANDS, R., Die lehmarchitektur der Pueblos: ein lektion in ökologischem bauen, 178 p., Köln, (R.F.A.), Studio Dumont, 1983.
-WOLFSKILL, L.A. et al., Handbook for building homes of earth, Greeley, Colorado, U.S.A., Rammed Earth International Institute, 1983.

## BIBLIOGRAPHIE GENERALE ET TECHNIQUE CONCERNANT PLUS DIRECTEMENT LE MAROC (par ordre alphabétique).

### A

-ADAM, A., La maison et le village dans quelques tribus de l'Anti-Atlas, collection Hespéris, Institut des Hautes Etudes Marocaines, n° XIII, Paris, (France), 1951.
-ADAM, J.A., Wohn-und siedlungsformen im süden Marokkos, München, (R.F.A.), Georg D.W. Callwey, 1981.
-AFFIA, A., Le béton de terre stabilisée, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, (Maroc), 1971.
-ALAOUI, H. et CHANDELLIER, J., Agément et matérieux locaux, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp. 33-39.
-ALAOUI, H et MARTIN, M., Maîtrise de la construction et matériaux locaux, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp. 49-59.
-ASSERMOUH, A., Marrakech et ses douars spontanés, In Bulletin Economique et Social du Maroc, n° 118-119, juillet-décembre 1970, Rabat, (Maroc), pp.81-97.

### B

-BAUER, G. et DETHIER, J., La terre et le roseau, ou la réhabilitation et l'amélioration des techniques traditionnelles de construction au Maroc, In Architecture d'Aujourd'hui, Paris, (France), n° 160, mars 1972, pp. 104-111.
-BENABDELLAH, F., Architectures régionales et matériaux locaux, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp. pp. 287-289.
-BENYAHIA, S., Approche des coûts dans l'expérience de l'ERAC-Tensift, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp. pp. 291-294.
-BEURRET, C., Haut-Atlas, paysages, architectures, vie et coutumes, objets populaires traditionnels, Musée de Grenoble, (France), 1980, 50 p.
-BIAU, D., L'avenir de la construction en terre dans les pays en développement, Rapport de thème, In Modernité de la construction en terre, Actes du colloque de 1984 de Vaulx en Velin, Edition Plan Construction / ENTPE / EPIDA, Paris, (France), 1986 et In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp. 301-306.



-BOUFOUS, M., Technologie du pisé, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp. 187-195.
-BOULLALI, M., La filière terre à Marrakech, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp. 41-43.

### C

-CHEIKH, Y.H., Construction en terre au Maroc, Mémoire de 3 ème cycle, Unité Pédagogique d'Architecture de Lyon, 1977.
-CHORFI, A., Utilisation de matériaux locaux dans le monde rural, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.281-286.
-CRATerre/GAITerre, Marrakech 83, Habitat en Terre, Aide à la conception architecturale d'un projet d'opération expérimentale en terre à Marrakech, MHAT/ERAC-Tensift, Grenoble, Paris, (France), REXCOOP / Plan Construction / Ministère des Relations Extérieures, 1983, 234 p.
-CRATerre-REXCOOP, (Guillaud, H. et Biau, D.), Opération expérimentale de construction en terre à Marrakech, Marrakech 83, Habitat en Terre, Rapport provisoire d'assistance technique et de conformité au programme Rexcoop sur dossiers A.P.S., Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, 17 nov. 1983, 43 p.
-CRATerre-REXCOOP, Projet Rexcoop, Marrakech 84, Habitat en Terre, rapport sur phase A.P.S., Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, avril 84, 76 p.
-CRATerre/GAITerre, Délégation marocaine à l'Isle d'Abeau, Rexcoop, Projets Marrakech, Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, juillet 1984, 14 p + annexes de présentation des A.P.S.des projets, 29 p.
-CRATerre, Doat, P., Guillaud, H. et Houben, H., Marrakech 84, Habitat en Terre, cahier des spécifications techniques pour la fabrication des matériaux en terre, Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, Août 84, 49 p.
-CRATerre, (Guillaud, H.), Marrakech 84, Habitat en Terre, Session de formation continue coopérants. Montage et Gestion des projets d'habitat économique, rapport de communication, (Rexcoop, Plan Construction et Habitat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées), Paris, (France), septembre 1984, 58 p.
-CRATerre, (Doat, P., Esteve, J. et Guillaud, H.), Programme Rexcoop, Marrakech 85, Habitat en Terre, rapport de mission effectuée à Marrakech, Casablanca et Rabat, du 16 janv. au 6 fév. 1985, Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, février 1985, 34 p + annexes.

-CRATerre, Guillaud, H. et Verney, P.E., avec Doat, P. et Houben, H., Evaluation technico-économique des coûts de construction en terre sur Marrakech et Ait Ourir, Coordination des projets, lancement des prototypes, Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, novembre 1985, 64 p. et annexes, 66 p.
-CRATerre, (Doat, P. et Guillaud, H.), Marrakech, Habitat en Terre, bilan phase prototypes, Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, juillet 1986, 26 p.
-CRATerre, (Guillaud, H., Verney, P.E. avec Doat, P. et Houben, H.), Marrakech 87 Habitat en Terre, Bilan évaluation phase prototypes, Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, novembre 1986, 28 p.
CRATerre, (Guillaud, H. et Verney, P.E.), Marrakech 87 Habitat en Terre, mission CRATerre réalisée à Marrakech du 15 au 22 février 1987, Grenoble, Paris, (France), Rexcoop, mars 1987, 13 p.
-CSTB, (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), Recherche d'une conception économique d'un habitat traditionnel dans un pays en voie de développement. Application au Maroc, Paris, (France), CSTB, 1982, 85 p.
-CSTB, (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), L'utilisation de la terre dans la construction, pays en développement: quel habitat ? extrait du magazine CSTB n° 36, mai 1985, Paris, (France) et In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.229-234.

## D

-DELEENHER, M., L'habitat précaire à Marrakech et dans sa zone périphérique, In Revue de Géographie du Maroc, n° 17, Rabat, (Maroc), 1970, pp. 43-50.
-DETHIER, J., Le Maroc, du spontané au planifié, In Métropolis n° 10, Paris, (France), novembre-décembre 1974.
-D.C.T.C.-C.T.B., (Direction du Contrôle Technique de la Construction - Centre Technique du Bâtiment), Rapport de la DCTC-CTB sur les 4 prototypes d'Hay Al Massira et d'Ait Ourir dans le cadre de l'opération Rexcoop-Terre de Marrakech, (une contribution de MM. Alaoui, H. et Martin, M.) Rabat, (Maroc), octobre 1986, 18 p. + Annexes, 8 p.

## E

-ESTEVE, J., (CRATerre), Arcs, voûtes et dômes, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.173-180.



-ERAC-Tensift, (Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction de la Région du Tensft), Recommandations pour la construction de 18 logements à Hay Al Massira et 18 logements à Ait Ourir, Marrakech, (Maroc), novembre 1986, 11 p.

## F

-FORNICHON, Les solutions en matière d'habitat économique, Circonscription de l'Aménagement du Territoire, texte ronéoté, Rabat, (Maroc), 1957.

## G

-GAUD, M. et SICAULT, G., L'habitat indigène au Maroc, In Bulletin de l'Institut d'Hygiène du Maroc, Tome IV, Rabat, (Maroc), 1937, pp. 2-102.
-GUILLAUD, H. et DOAT, P., (CRATerre), Construire en terre: une indispensable formation, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.61-64.
-GUILLAUD, H., (CRATerre), et KERGREIS, M., Marrakech, Habitat en terre, In Montage et Gestion des Projets d'Habitat Economique, actes du séminaire de septembre 1984, REXCOOP, Plan Construction et Habitat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, (France), 1985 pp. 149-185.
-GUILLAUD, H., (CRATerre), Maroc, actualité et avenir de la construction en terre, In Afrique Expansion n° 22 de juin 1987, rubrique secteur clé, Paris, (France), pp. 26-29.

## H

-HAMMOUDI, A., L'évolution de l'habitat dans la vallée du Draâ, In Revue de Géographie du Maroc, n° 18, Rabat, (Maroc), 1970, pp. 33-45.
-HAROUCHI, A., Habitat et société dans la vallée du Draâ, Thèse de troisième cycle Unité Pédagogique d'Architecture de Toulouse, (France), 1979.
-HENSENS, J., BAUER, G., HAMBURGER, B., DETHIER, J., Rénovation de l'habitat de la vallée du Draâ, Rabat, (Maroc), 1967.
-HENSENS, J., Habitat rural traditionnel des oasis présahariens. Le Qsar, problèmes de rénovation, In Bulletin Economique et Social du Maroc, n° 114, juillet-septembre 1969, Rabat, (Maroc), pp. 83-107.

-HENSENS, J., Enquête nationale sur l'habitat rural traditionnel au Maroc, In Bulletin Economique et Social du Maroc, n° 118-119, juillet-décembre 1970, Rabat, (Maroc), pp. 99-115.
-HENSENS, J., L'avenir des constructions en terre au Maroc, CERF, Rabat, (Maroc), 1970, 7 p.
-HENSENS, J., L'habitat économique au Maroc, CERF, Rabat, (Maroc), 1971.
-HENSENS, J., Note sur la nature des matériaux constitutifs de l'habitation, CERF, Rabat, (Maroc), 1972.

## I

-ICHTER, J.P. et SASS, Les Ksours de la vallée du Tafilalet, In Revue A + U Revue africaine d'Architecture et d'Urbanisme n° 5, Rabat, (Maroc), 1967, pp. 35-49
-ICHTER, J.P., DURU, H. et DECOVILLE, D., "Kasbas" des vallées présahariennes, In Revue A + U Revue africaine d'Architecture et d'Urbanisme n° 5, Rabat, (Maroc), 1967, pp. 50-51.
-ICHTER, J.P., Maisons du Rif, In Revue A + U Revue africaine d'Architecture et d'Urbanisme n° 5, Rabat, (Maroc), 1967, pp. 52-54.

## J

-JACQUES-MEUNIE, D., Greniers collectifs, In Hespéris, Archives Berbères et Bulletin de l'Institut des Hautes-Etudes Marocaines, Tome XXXVI, 1er et 2ème trim., Paris, (France), 1949.
-JACQUES-MEUNIE, D., Greniers-citadelles du Maroc, Institut des Hautes-Etudes Marocaines, Tome LII, Paris, (France), 1951.
-JACQUES-MEUNIE, D., Sites et forteresses de l'Atlas, monuments montagnards du Maroc, Paris, (France), 1951.
-JACQUES-MEUNIE, D., Architectures et Habitat du Dades, Editions de la Librairie Klincksieck, Paris, (France), 1962, 127 p.

## K

-KABBAJ, A., Les partenaires mobilisés dans l'opération de l'ERAC-Tensift, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.45-47.
-KABBAJ, A., Processus de mise en place d'un projet en matériaux locaux, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.155-158.
-KASBA 64, Study Group, NIJST, A.L.M.T., PRIEMIUS, H., SWETS, H.L., IJZEREN, J.J., Living on the edge of the Sahara, a study of traditional forms of habitation and types of settlements in



Morocco, Government Publishing Office, La Hague, (Pays-Bas), 1973.

## L

-LANDAU, R., The Kasbas of Southern Morocco, London, (England), Faber and Faber, 1969.
-LARAKI, M., Thème III: Aspects économiques et sociaux, rapport général de thème, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.263-265.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), La fabrication au Maroc des pisés stabilisés au ciment, guide pour la prospection, le choix des terres, la définition des conditions d'emploi, Casablanca, (Maroc), L.P.E.E., 1955.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), Rapport sur le programme d'essais préléminaires de pisés améliorés, Casablanca, (Maroc), 5 mai 1977, 25 p.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), ERAC-Tensift, Marrakech, Identification des sols des sites Massira-Koutoubia et Ait Ourir, rapport préléminaire, dossier n° 83/250/1/090/EF/AB/KF, agence de Marrakech, (Maroc), 10 novembre 1983, 33 p.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), ERAC-Tensift, Marrakech, Massira Terre, rapport complémentaire, dossier n° 83/250/2/091 FE/AB/FK, agence de Marrakech, (Maroc), le 12 juin 1984, 13 p.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), ERAC-Tensift, opération Hay al Massira Terre, Blocs de terre comprimés, pleins, stabilisés au ciment, dossier n° 85/250/1/192/M91/AA/FK, agence de Marrakech, (Maroc), le 16 octobre 1985, 7 p.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), ERAC-Tensift, opération Hay al Massira Terre, Blocs de terre comprimés pleins stabilisés, dossier n° 85/250/2/192/ M91/AA/FK, Marrakech, (Maroc), le 6 janvier 1986, 24 p.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), ERAC-Tensift, opération Ait Ourir Terre, dossier n° 86/250/2/229/ M132/AA/FK, Marrakech, (Maroc), le 17 février 1986, 14 p.
-L.P.E.E., (Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes), Laboratoire Régional de Marrakech, (contribution de M. Boualil, A., Chef de laboratoire), ERAC-Tensift, Massira Terre, Note récapitulative, Marrakech, (Maroc), 10 octobre 1986, 8 p.

## M

-MARIOTTI, M., Dévelopement de l'habitat économique, importance de l'utilisation optimale des ressources locales et technologies adaptées, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.159-172.
-MARTIN, M., Emploi des fibres végétales dans la construction, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.141-149.
-M'BARKI, M., Thème II: Conception des bâtiments et Techniques de Construction, rapport général de thème, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.101-128.
-MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, (Ouazzani, R.), La construction en terre, note de synthèse, MHAT, Rabat, (Maroc), 1978.
-MINISTERE DE L'HABITAT, ERAC-Tensift, (Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction de la Région du Tensift), D.C.T.C., (Direction du Contrôle Technique de la Construction), Actes du Séminaire sur la Construction en Matériaux Locaux, Marrakech, les 25 et 26 avril 1986, Médias Conseil / Edition Moderne S.A., Rabat, (Maroc), 328 p. 1987.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, (Cantaloup, J.), Construction en béton de terre stabilisée, étude sur la construction en pisé, Marrakech, (Maroc), 1955, 11 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, T.P. de Marrakech, Etude des pisés, CERF, Rabat, (Maroc), 1965.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Rénovation de l'habitat de la vallée du Draâ, CERF, Rabat, (Maroc), 1967.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Etude d'une voûte en béton de terre stabilisée, CERF, Rabat, (Maroc), 1968.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Aménagement du Territoire, LPEE de Casablanca, (Mattei, O., Mariotti, M.), Aménagement du Territoire, chantier de Berkane Zegzel, Construction de 400 logements, réalisation des agglomérés, 1er rapport, Casablanca, (Maroc), 1968, 16 p., 2ème rapport, Casablanca, (Maroc), 1968, 13 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Recherches technologiques terre et roseau, CERF, Rabat, (Maroc), 1968.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Rénovation de l'habitat traditionnel des vallées présahariennes, CERF, Rabat, (Maroc), 1968.



-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Aménagement du Territoire, Préparation du plan de développement 1968-1972, rapport, Rabat, (Maroc), 1968, 6 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Rénovation de l'habitat de la vallée du Draâ, tendances d'évolution, Enquêtes, CERF, Rabat, (Maroc), 1969, 6 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Rénovation de l'habitat traditionnel des vallées présahariennes, études opérationnelles-Méthodes, CERF, Rabat, (Maroc), 1969, 4 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Rénovation de l'habitat traditionnel du Draâ-Qsar de Tamezmoute, CERF, Rabat, (Maroc), 1969, 17 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Recherches technologiques sur la terre et le roseau pour l'habitat économique, CERF, Rabat, (Maroc), 1969.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Essais de laboratoire sur le BTS employé au CAF, CERF, Rabat, (Maroc), 1969, 21 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, Etude de BTS, influence du dosage en ciment et du taux de compactage sur la résistance et la durabilité du BTS, CERF, Rabat, (Maroc), 1970, 31 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, (Etude de Affia, A.), Le béton de terre stabilisée, Rabat, (Maroc), 1971, 17 p.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, L'habitat rural au Maroc, Enquête nationale sur l'habitat traditionnel, habitation, résultats partiels, CERF, Rabat, (Maroc), 1972.
-MINISTERE DE L'INTERIEUR, Circonscription de l'Urbanisme et de l'Habitat, Maisons en terre pour Ouarzazate, Rapport DUF n° R 59, Marrakech, (Maroc), 1967.
-MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, Circonscription de l'Urbanisme et de l'Habitat, Maisons en terre pour Ouarzazate, rapport DAUH n° R 59, Marrakech, (Maroc), 1967.
-MOINE, Ph et PRADEAU, D., Eléments d'architecture adaptés au climat désertique en pays islamiques, mémoire de 3 ème cycle, Unité Pédagogique de Bordeaux, (France), 1978.
-MONTAGNE, R., Une tribu berbère du Sud marocain: Massat, In Hespéris, Archives berbères et Bulletin de l'Institut des Hautes-Etudes Marocaines, Tome IV, 4 ème trimestre, Paris, (France), 1924, pp. 357-403.
-MONTAGNE, R., Un magasin collectif de l'Anti-Atlas: l'Agadar des Ikounka, In Hespéris, Archives berbères et Bulletin de l'Institut des Hautes- Etudes Marocaines, Tome IX, 2 ème et 3 ème trimestres, Paris, (France), 1929, pp. 145-205.

-MONTAGNE, R., Villages et Kasbas berbères, Editions Allan, Paris, (France), 1930, 20 p.

N

-NAFAKH LAZRAQ, M., A., Thème I: Les Intervenants dans l'acte de bâtir et les matériaux locaux, rapport de thème, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.23-28.
-NATAF, M., Matériaux marocains pour bétons légers et pour bétons économiques, In Mines, Géologie et Energie, n° 46, Rabat, (Maroc), 1979, pp. 203-207.
-NOUARI, L., Le béton de terre stabilisée, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.205-219.

O

-OUDGHIRI, N., Signification d'opérations expérimentales sur le territoire de la Délégation Régionale de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire de Marrakech, séminaire organisé par le MHAT, 6 et 7 juin 1980.

P

-PARIS, Dr. A., Documents d'architecture berbère, Sud de Marrakech, Editions Larosse, Paris, (France), 1925, 57 p., également In Hespéris, n° 11, Institut des Hautes-Etudes Marocaines, Paris, (France), 1925.
-PROMOCONSULT, (contibution de MM. Benyahia et Bouhabdou), Bilan technique et financier de l'opération ERAC-Tensfi, Marrakech, Opération Hay Al Massira Terre, construction de 2 logements prototypes, Casablanca, (Maroc), 7 octobre 1986, 20 p.
-PROMOCONSULT, (contibution de MM. Benyahia et Bouhabdou), Bilan technique et financier de l'opération ERAC-Tensfi, Marrakech, Opération Ait Ourir Terre, construction de 2 logements prototypes, Casablanca, (Maroc), 7 octobre 1986, 12 p.
-PROMOCONSULT, ERAC-Tensift de Marrakech, Opération Hay Al Massira Terre, Construction de 20 logements, CPS (Cahier des Prescriptions Spéciales) et CPT (Cahier des Prescriptions Techniques), mars 1987, 90 p. + Annexes bordereau des prix, détail estimatif.
-PROMOCONSULT, ERAC-Tensift de Marrakech, Opération Ait Ourir Terre, Construction de 24 logements, CPS (Cahier des



Prescriptions Spéciales) et CPT (Cahier des Prescriptions Techniques), mars 1987, 84 p. + Annexes bordereau des prix, détail estimatif.

S

-SIJELMASSI, A., Matériaux locaux et création architecturale, In Actes du séminaire sur la construction en matériaux locaux de Marrakech, 25-26 avril 1986, Rabat, (Maroc), pp.151-153.

T

-TERRASSE, H., Kasbas berbères de l'Atlas et des Oasis, Paris, (France), 1938.

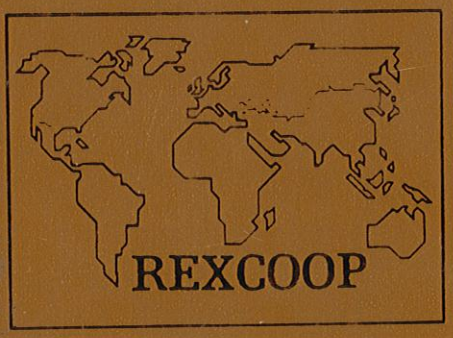
V

-VERITE, J., Inventaire, protection et mise en valeur des architectures traditionnelles du Sud marocain, UNESCO, Paris, (France), 1977, 18 p.

Cet ouvrage "MARRAKECH 87, HABITAT EN TERRE" fait une évaluation de l'opération de construction des prototypes réalisés par l'Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction (ERAC) de la région du Tensift dans le cadre du programme interministériel REXCOOP. Ce programme a joué le rôle d'incitation et a su mobiliser un large partenariat, réunissant :
Pour le Maroc : le Ministère de l'Habitat, l'Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction (ERAC) de la région du Tensift (maîtrise d'ouvrage), le Crédit Immobilier Hôtelier (CIH) pour le financement, la Direction du Contrôle Technique de la Construction (DCTC), le Laboratoire Public d'Etudes et d'Essais (LPEE) et le BET Promoconsult pour le contrôle technique, trois architectes marocains et le Groupement d'Architectes et d'Ingénieurs Terre (GAITerre), et des entreprises locales.
Pour la France : des architectes français ayant participé au projet du "Domaine de la Terre" (programme pilote de 65 logements HLM en terre construit par l'OPAC de l'Isère), des fabricants de presses à blocs de terre et le CRATerre pour la coordination de l'assistance technique et architecturale.

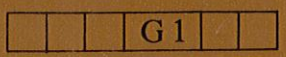
Cette publication fait un bilan de l'opération Terre et donne des outils d'aide à la conception architecturale et à la production des matériaux.

Cet ouvrage a bénéficié du soutien du programme
REXCOOP de la coopération française




CRATerre
Centre Simone SIGNORET BP 53
38090 VILLEFONTAINE France

ISBN 2-906901-02-4




FF 100,00