



**HAL**  
open science

## Marrakech 83, Habitat en terre

Patrice Doat, Hubert Guillaud, Hugo Houben, Malak Laraki, Michel Kergreis,  
Jamaldine Hmami, Mohamed Boulali, Amine Kabbaj, Abdel Malek Latifi

► **To cite this version:**

Patrice Doat, Hubert Guillaud, Hugo Houben, Malak Laraki, Michel Kergreis, et al.. Marrakech 83, Habitat en terre. [Rapport de recherche] CRATerre; GAITerre; REXCOOP; ERAC-Tensift. 1983, pp.232. hal-03186755

**HAL Id: hal-03186755**

<https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-03186755v1>

Submitted on 31 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

1088

**Marrakech 83**

**Habitat en Terre**



**REXCOOP**

**MARRAKECH 83**  
**HABITAT en TERRE**

Rexcoop

Aide a la conception  
Architecturale

Réalisation : CRATerre  
GAITerre

- **RÉALISATION**

- **C.R.A.Terre**  
**Centre de Recherche**  
**et d'Application Terre**

- Patrice DOAT, architecte
    - Hubert GUILLAUD, architecte
    - Hugo HOUBEN, ingénieur

Haut-Brié - Brié et Angonnes  
38320 EYBENS - FRANCE

- **G.A.I.Terre**  
**Groupement d'Architectes et**  
**d'Ingénieurs Terre**

- Malak LARAKI, architecte
    - Michel KERGREIS, architecte-urbaniste S.F.U.
    - Jamaldine HMAMI, architecte
    - Mohamed BOULALI, architecte
    - M. Amine KABBAAJ, architecte
    - Abdel Malek LATIFI, ingénieur

B.P. 722 - MARRAKECH-GUELIZ  
Royaume du MAROC

- **COLLABORATION**

- Enquêtes : Mr Benyahia
  - Mr Madihy
  - Mr Tamri

- Chantiers : Mr C. Bertheas
  - Mr E. Mouyal
  - Mr M. Zagrouj

- **FINANCEMENT DES ÉTUDES**

- **Rexcoop-Plan Construction**  
Mr CHATRY, Mr MICHEL, Mr BIAU

1, rue François-1er  
75008 PARIS

- **Ministère des Relations Extérieures**

- Melle M.C. de FRANCLIEU

- **Erac-Tensift**

- Mr NAFAKH-LAZRAQ

20, rue Monsieur - 75007 PARIS

Place du 16 novembre - MARRAKECH  
Royaume du MAROC

- **CONTROLE TECHNIQUE**

- **D.C.T.C.** Direction du Contrôle Technique  
de la Construction  
Directeur, Mr M'BARKI (M.H.A.T)

8, rue de Figuig - RABAT  
Royaume du MAROC

- **L.P.E.E.** Laboratoire Public "Essais et d'Etudes"  
Mr NOUARI

25, rue d'Azilal - BP 389  
CASABLANCA 01 - Royaume du Maroc

- **MAITRE D'OUVRAGE**

- **Erac-Tensift**  
Directeur, Mr NAFAKH-LAZRAQ

Place du 16 novembre - MARRAKECH  
Royaume du MAROC

- **Photographies**

- Christian LIGNON  
Couverture, recto et verso  
pp. 5, 73 (bas), 136, 157, 164  
C.R.A.Terre et G.A.I.Terre, autres pages

26, rue Targa Zedaghia - MARRAKECH

- **Illustrations**

- Pascal ROLLET, Ecole d'Architecture de Grenoble

10, Galerie des Baladins  
38100 GRENOBLE - FRANCE

## PRÉFACE

Depuis plusieurs générations, les techniques de construction en terre sont connues et utilisées au Maroc dans l'habitat. Les édifices en terre qui ponctuent les paysages du Royaume sont autant de témoignages du génie des bâtiments et des heures de gloire qu'a connu ce matériau.

Désireux de renouer avec une tradition et un savoir-faire éclipsé par les techniques modernes, l'ERAC-Tensift, conscient des réalités actuelles et des aléas économiques s'est fixé pour objectif principal un habitat au moindre coût adapté au contexte culturel et social de la région.

Dans cet esprit, l'idée d'une expérimentation en terre a connu le jour à travers une étroite collaboration entre différents intervenants français et marocains.

L'objectif visé à travers cette expérimentation par l'ERAC-Tensift est la vulgarisation des procédés de construction en terre afin de lever toutes les appréhensions socio-psychologiques qui se sont installées dans les esprits et de concilier les techniques modernes et les matériaux traditionnels pour redonner à la terre toute sa crédibilité.

Le travail effectué par le CRA Terre et son homologue marocain le GAITerre est à ce juste titre l'expression d'une volonté d'aboutir les qualités performantes de ce matériau qui ne sont plus à démontrer. Celles-ci s'imposent dans un monde où l'énergie ne cesse d'augmenter. La terre est de toute évidence ce retour nécessaire vers un cadre de vie plus agréable.

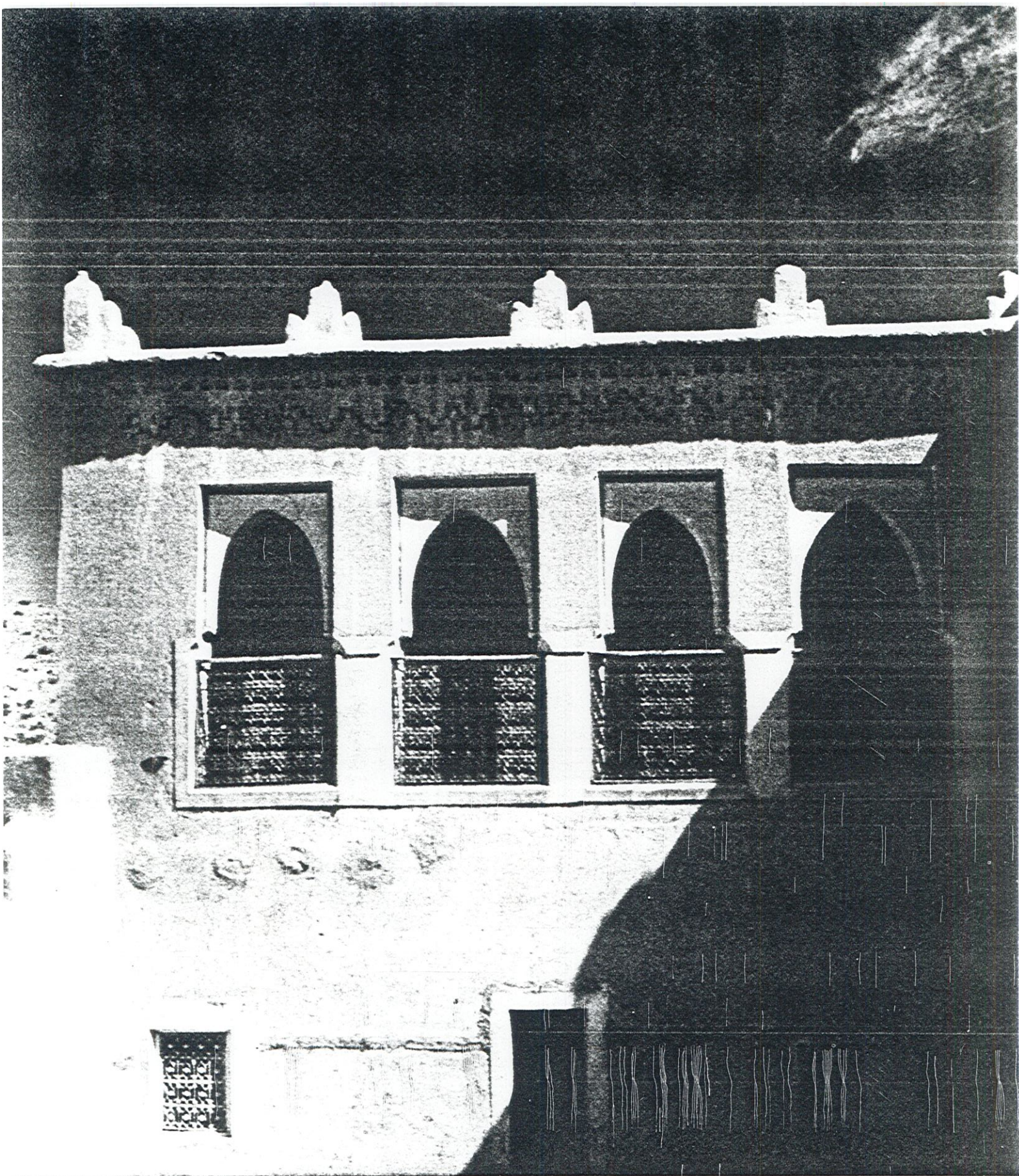
Mr NAFAKH-LAZRACQ  
Directeur de l'ERAC-Tensift

## REMERCIEMENTS

- La réalisation de ce document d'aide à la conception architecturale a sollicité le concours de nombreuses personnes.
- Nous tenons tout particulièrement à remercier Monsieur Nafakh Lazraq, Directeur de l'ERAC-Tensift, Monsieur Michel, Monsieur Biau chargé de recherche au Plan Construction, Mademoiselle de Franclieu, de la Direction des Politiques du Développement au Ministère des Relations Extérieures, pour leur soutien logistique, Messieurs M'Barki et Alaoui de la D.C.T.C., Messieurs Nouari et Abou Ali du L.P.E.E pour leur participation au contrôle technique de l'opération ; Monsieur Oudghiri de la D.R.H.A.T.
- Nous remercions également toutes les personnes qui ont apporté leur aide critique ou technique : Mrs De Leenheer et Jalal de la Délégation de l'Habitat de Marrakech ; Mr Clément, de l'Institut Français d'Architecture ; Mr Dethier, Architecte Conseil au C.C.I., Mr Benabbou, Mr Soubai, du Cercle de Zagora ; Mr Ichter, architecte-urbaniste à Fes.  
Mr Benyahia, Mr Madihy et Mr Tamri, pour leur participation aux enquêtes effectuées auprès des producteurs de matériaux, Christian Lignon pour sa participation à l'iconographie photographique de ce document ; Mamoun Zagrouj pour son accueil et son appui lors de la réalisation des enquêtes architecturales dans le Sud Marocain.
- Nous tenons aussi à remercier tous les mââlems et ouvriers des chantiers visités pour leur accueil et leur savoir faire précieux et riche en enseignements.

## SOMMAIRE

<b>CHAPITRE 1. ● AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE</b>	
<b>1. ● SOURCES DOCUMENTAIRES A CONSULTER</b>	
1.1. ● Construire en Terre .....	6
1.2. ● Village Terre .....	7
<b>2. ● REGLES ESSENTIELLES DE L'ART DE BATIR EN TERRE</b>	8
2.1. ● Règles essentielles	
2.2. ● Quelques précisions méthodologiques	
● Les points névralgiques	
● Principaux agents de dégradation	
● L'importance de l'observation pathologique	
2.3. ● Connaître le matériau terre crue	
● Composition .....	11
● Caractéristiques .....	13
● Stabilisation .....	17
● Normes, D.T.U. ....	20
2.4. ● Conception architecturale adaptée au matériau terre .....	21
<b>3. ● DÉGRADATIONS TYPÉES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT</b>	
3.1. ● Les actions des principaux agents de dégradation .....	23
● Les actions les plus typées de l'eau et de l'humidité .....	23
● L'action du vent .....	27
● Actions des êtres vivants .....	29
3.2. ● Les points fragiles des constructions en terre	
● Le bas du mur .....	33
● Le haut du mur .....	45
3.3. ● Protection des points faibles : principes de solutions architecturales	
● Schéma théorique .....	61
● Quelques solutions traditionnelles .....	63
● Solutions de protection de surfaces locales : tadellakt et dess .....	74
<b>CHAPITRE 2. ● FILIERES TERRE</b> .....	86
<b>1. ● CHOIX DES FILIERES TERRE DÉVELOPPÉES</b> .....	87
<b>2. ● DÉFINITION DES FILIERES ET DES MODES DE PRODUCTION</b>	88
2.1. ● Le pisé .....	89
2.2. ● Biocls compressés .....	113
2.3. ● Adobe .....	131
2.4. ● Brique cuite + terre .....	141
<b>CHAPITRE 3. ● ANNEXES</b>	
A.1. ● Marrakech 83, Habitat en terre : programme de l'opération .....	156
A.2. ● Cahier des charges du programme REXCOOP .....	164
A.3. ● Quelques études de cas .....	174
A.4. ● Caractéristiques du matériau .....	194
A.5. ● Bibliographie .....	203
A.6. ● Organismes .....	208
A.7. ● Personnalités .....	209
A.8. ● Prix matériaux .....	212



**conception**  
**architecturale**



# 1. SOURCES DOCUMENTAIRES A CONSULTER

## 1.1. CONSTRUIRE EN TERRE

P. Doat, A. Hays, H. Houven, S. Matuk, F. Vitoux, ed. alternatives, Paris 1979. Réédition, 1983.

### Table des matières des chapitres concernés

<b>II— LE PISE</b>	12	<b>III — L'ADOBE</b>	106
Le pisé traditionnel	13	Fabrication des briques d'adobe	107
● Les outils	13	● Fabrication des briques dans l'Antiquité	107
— la banche	13	— à Babylone	107
— le fond de banche	15	— en Grèce	108
— les clés	16	— en Egypte	108
— les coins	16	● Le choix de la terre	111
● La terre	17	— extraction	112
— choix	17	— tamisage	112
— extraction préparation	17	— préparation de la terre	112
● Elévation des murs	21	— stabilisation	112
— méthodes lyonnaise et auvergnate	21	● Les moules, le moulage et démoulage	113
— joints verticaux et joints obliques	22	— inventaire des moules à briques d'adobe	113
— méthode du Bugey	24	— moulage	113
— épaisseur des murs	25	- moulage "à la balle" méthode dite	
— chainages	26	à coup d'eau	113
— les angles	26	- utilisation d'un moule avec fond :	
— ouvertures	27	méthode dite à coup de sable	118
— les planchers	28	— séchage et stockage	118
— murs pignons	28	— moulage mécanique	119
— couverture	28	— production à grande échelle	119
		— autres méthodes	120
<b>COINTEREAUX EN 1790</b>		- l'adobe découpée	120
● Maison traditionnelle du Bas-Dauphiné	30	- l'adobe filée	120
● Construire en pisé en 1972		Elevation des murs	121
(interview d'un charpentier)	34	— les mortiers	121
● Le pisé au Maroc : une autre dimension	37	— appareillage des briques	121
● Du pisé dans la cordillère des Andes : la Tapia	39	— protection des angles	126
		— renforcement de la structure	126
Actualisation du pisé		— renforcement de la maçonnerie	
● Problèmes du matériau	44	maçonnerie armée	126
— le choix de la terre	44	— ouvertures	128
— stabilisation	44		
— compactage	45	<b>IV — BRIQUES DE TERRE COMPRESSÉES</b>	137
● Le compactage	45	Blocs de terre compressés à la main	138
— compactage manuel	45	Presses	140
— compactage mécanisé	48	● Tableau des 28 presses	140
— engins de compactage par impact	49	● Caractéristiques des presses	141
● Les fondations	53	● Notre presse "La Palafitte"	142
● Le banchage	53	● Notre sélection des presses commercialisées	
— solidité	53	particulièrement intéressantes 148 (tableau) - 149	
— stabilité	53	— Cinva-Ram	149
— maniabilité	69	— Tek-Block	149
— mise d'aplomb	69	— Ellsom Block Master	151
— le problème des clés	69	— Terstaram	153
— les échafaudages	69	— CLU 2000	153
— les traverses supérieures	69	— MMH 2000	154
— les angles	69	● Autres presses commercialisées	154 - 155
— modulation	70	— ABI	154
— l'inclusion d'éléments préfabriqués	71	— Hallumeca	155
— écartement des bandes	71	— Drosthalm	155
— parement	71	● Musée des presses	156
— entretien	71		
— banchage spécial	71		
— coffrage complet	71		

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# SOURCES DOCUMENTAIRES A CONSULTER

## 1.2. VILLAGE TERRE

Recommandations pour la conception des bâtiments du village terre de l'Isle d'Abeau.

AGRA-UPAG - PLAN CONSTRUCTION, PARIS, 1982.

Tables des matières des chapitres concernés

<b>1.</b>	<b>FILIERES TERRE</b>		<b>6</b>
I	La terre	7	
II	Construire en terre	10	
III	Les filières	12	
IV	Blocs compressés	13	
V	Adobe	14	
VI	Pisé	15	
VII	Béton de terre armé	16	
VIII	Briques étirées	17	
IX	Terre-paille	18	
<b>2.</b>	<b>ELEMENTS DE PRODUCTION</b>		<b>19</b>
I	La terre en général	20	
II	Blocs compressés	29	
III	Adobe	34	
IV	Pisé	39	
V	Autres produits	58	
<b>3.</b>	<b>SPECIFICATIONS TECHNIQUES</b>		<b>61</b>
I	Composants	62	
II	Blocs compressés	68	
III	Adobe	78	
IV	Pisé	83	
V	Autres produits	88	
VI	Chemins et aires	90	
VII	Analyses, essais, contrôles	97	
<b>4.</b>	<b>CARACTÉRISTIQUES</b>		
I	Caractéristiques	103	
II	Aspects thermiques	113	

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## 2. REGLES ESSENTIELLES DE L'ART DE BATIR EN TERRE

### 2.1 . REGLES ESSENTIELLES

- La qualité d'une architecture de terre, sa durée tout autant que sa destruction rapide dépendent pour l'essentiel de la qualité du **"savoir concevoir"** et du **"savoir bâtir"**, c'est-à-dire du respect des règles essentielles de l'art de bâtir en terre. Ces règles essentielles peuvent être résumées par :
  - 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 œuvre 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.
- C'est en renouant avec une tradition du **"savoir-concevoir"** et du **"savoir bâtir"** en terre, tout en exploitant de façon optimale les bénéfices d'une technologie actuelle, que l'on pourra maîtriser le coût global de production des bâtiments en terre et produire une architecture de qualité démonstrative des potentialités réelles du matériau.

### 2.2 . QUELQUES PRÉCISIONS MÉTHODOLOGIQUES

- **Les points névralgiques**

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 ou mal exécutées. 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.

- **Principaux agents de dégradation**

Une mauvaise conception architecturale, c'est-à-dire une inadaptation flagrante des options techniques et architecturales aux caractéristiques du matériau, et une mise en œuvre peu soignée, sont les facteurs majeurs de dégradation ultérieure de l'édifice. En effet, l'absence de soubassement, une fissuration structurale (p.e., un tassement de l'édifice du à de mauvaises fondations), une fissuration de retrait (p.e., teneur en eau incorrecte pour le pisé), un orifice de clé de banche non rebouché, sont autant de points faibles qui peuvent susciter une dégradation rapide.

Les autres principaux agents de dégradation des constructions en terre sont associés d'une part à l'environnement naturel — et l'on distinguera essentiellement l'importance du rôle néfaste de l'eau — et d'autre part aux agressions des êtres vivants (activités de l'Homme et des animaux à proximité des bâtiments) qui se traduisent le plus souvent par des chocs imprimés aux constructions.

- **L'importance de l'observation pathologique**

Nous nous attachons ici à mettre en valeur le point de vue de l'observation pathologique. Les agents et les causes de dégradation majeurs donnent une pathologie très typée. Si l'on écarte les malfaçons structurales d'origine (pathologie dûe à une mauvaise mise en œuvre), on observe assez directement que les dégradations les plus typées sont liées à un manque de protection élémentaire. Les formes remarquables de ces dégradations sont tout compte fait relativement peu nombreuses : fissurations, érosion de surface, creusement, effondrement partiel. Un bon nombre de ces dégradations résultent

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

davantage de l'action répétée des agents de dégradation que de leur action ponctuelle. Dès lors que le processus d'altération est engagé, sans traitement immédiat, la pathologie prend très rapidement de l'importance jusqu'à être irréversible. Cette pathologie classique des constructions en terre peut être évitée en adoptant des principes et des solutions de traitement relativement simples. Nous présentons par la suite ces principes en laissant une grande liberté à la conception architecturale ; Les architectures traditionnelles exposent un grand nombre de solutions qui peuvent être employées telles quelles ou réadaptées par l'emploi d'une technologie actuelle. La littérature spécialisée abonde en exemples de solutions appropriées (cf. documents cités en référence). Notre propos vise essentiellement à **développer une méthode de conception adaptée à la fragilité du matériau**, une attitude préventive qui tend à n'offrir qu'un champ réduit à l'intervention ultérieure des maux classiques.

- 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. Nous insistons encore sur la connaissance nécessaire des caractéristiques spécifiques au matériau terre et sur le respect des règles de l'art de bâtir en terre. Ce que l'on peut appeler un diagnostic clinique de l'architecture de terre devient de la plus grande utilité pour que les concepteurs et les bâtisseurs ne s'engagent pas dans un choix de partis structuraux et de systèmes techniques et architecturaux qui seraient, par leur caractère inadapté, très préjudiciables à la qualité et à la durée des architectures de terre.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

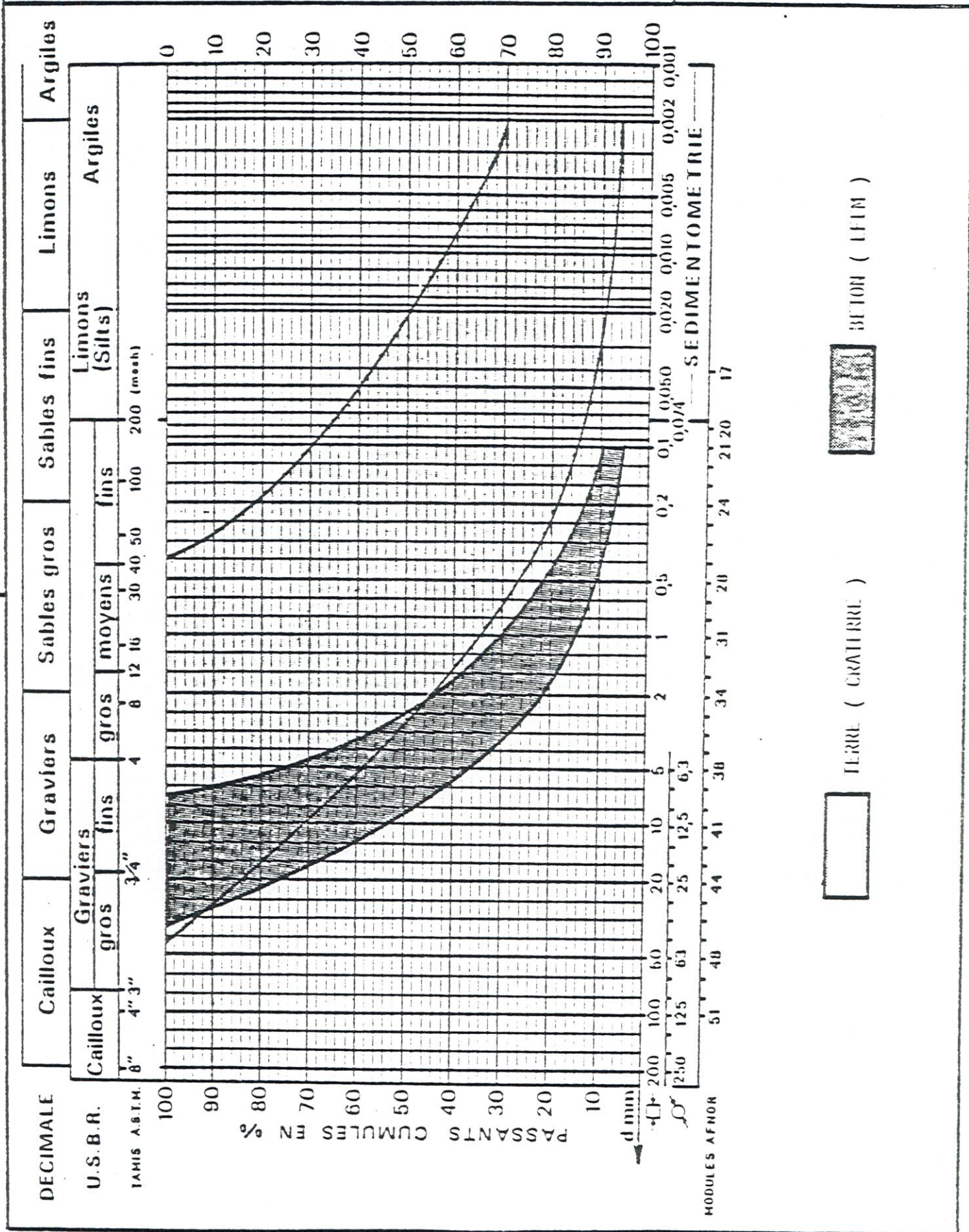
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

### 2.3. CONNAITRE LE MATÉRIAU TERRE CRUE

**Composition** (cf. document "Village Terre" Isle d'Abeau )

- Les terres employées pour la construction contiennent du gravier, du sable, du limon et de l'argile en proportion variable. L'argile est absolument indispensable car elle assure la cohésion du matériau en liant les uns aux autres les composants inertes — gravier, sable — qui constituent le squelette du matériau. Cette cohésion donnée par l'argile réduit l'effritement du matériau et permet de ne pas ajouter à la terre un autre liant artificiel — ciment ou chaux, autre. Néanmoins, une terre trop argileuse aura tendance à se fissurer, du fait des variations de volume de sa fraction argileuse en présence d'humidité (gonflement et retrait aux cycles répétés d'humidification et de séchage), alors qu'une terre trop sableuse manquera de cohésion et s'effritera.
- Les terres utiles sont généralement prélevées à la profondeur de l'horizon de sol dit "éluvial". Celui-ci se situe en-dessous de l'horizon de surface qui est composé d'une couche de sol organique peu décomposée (plus de 30 % de matières organiques) et d'une couche de matière organo-minérale. L'horizon "éluvial" est pauvre en matières organiques et le plus souvent lessivé en argiles et en oxydes de fer (ceux-ci ayant migré en profondeur). Cet horizon de prélèvement du matériau utile dont la profondeur varie selon la qualité des sols rassemble les principaux composants nécessaires à la composition texturale et granulométrique d'une bonne terre à bâtir. Au-delà de cet horizon éluvial, les couches profondes des sols sont progressivement marquées par une accumulation en colloïdes et en oxydes de fer (horizon "illuvial" qui précède la roche mère) ; ces sols de profondeur ne sont pas propices à la construction en terre.
- Chaque technique de construction en terre, le pisé, l'adobe, le bloc comprimé, est concernée par une qualité de terre bien définie. Des courbes granulométriques idéales, inscrites dans des fuseaux limites, précisent la composition des terres qui conviennent pour la construction en pisé, en adobe, en B.T.S.
- Dans tous les cas, la composition texturale et granulométrique des terres que l'on compte employer pour la construction devront être connues ; on s'en référera également aux résultats des analyses et essais indispensables.



# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

- On rappellera ici que la construction en terre peut être comparée à une construction qui emploie un béton maigre. Il s'agit donc d'un matériau fragile dont il convient de bien connaître les caractéristiques physiques et mécaniques. La résistance à long terme des constructions en terre est particulièrement tributaire d'un choix correct de la terre, de la qualité de mise en œuvre mais aussi d'une conception architecturale appropriée qui respecte des règles de l'art de bâtir spécifiques au matériau terre. Nous précisons ces règles de l'art et des codes de bonne pratique par la suite.

### Caractéristiques (cf. document "Village Terre" Isle d'Abeau)

- La connaissance des caractéristiques du matériau terre intéresse directement les concepteurs des projets car elle leur permet d'adopter des règles de conception adaptées aux performances réelles du matériau. Cette connaissance induit un choix raisonné des partis techniques et architecturaux (systèmes de construction, éléments de l'architecture, procédés de mise en œuvre appropriés). On ne construit pas en terre comme l'on construit avec n'importe quel autre matériau.
- Les essais qui sont classiquement appliqués à d'autres matériaux de construction ont été adoptés pour les matériaux en terre, faute de mieux, sans avoir été fondamentalement adaptés aux particularités de la terre. Si la plupart de ces essais connus (résistance à la compression, au cisaillement, à la flexion, à la traction, etc...), sont aisément applicables à des produits tels que la brique d'adobe ou le bloc compressé, ils le sont moins pour le pisé. Des résultats d'essais préliminaires obtenus lors de la mise au point du matériau qui sera mis en œuvre, permettent d'évaluer les caractéristiques du matériau. Il existe cependant très souvent un manque de concordance entre les essais effectués en laboratoire (et les résultats obtenus) et les conditions d'exploitation réelle de ces essais sur le chantier. Une vigilance et un contrôle technique sont indispensables lors de la mise en œuvre. La qualité d'exécution est garantie par cette vigilance et peut notamment s'appuyer sur un savoir-faire réel (le cas présent d'une forte tradition et d'une actualité du pisé au Maroc).

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.



# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

- Les organismes officiels chargés de normaliser les caractéristiques des matériaux de construction se heurtent à beaucoup de difficultés lorsqu'ils ont à se situer par rapport aux spécificités du matériau terre. Ce matériau ne résiste pas aux essais standardisés de laboratoire qui concluent souvent trop vite que les matériaux de terre testés sont impropres à la construction ou qui exigent des performances trop poussées. Bien que la terre soit réellement un matériau fragile les constructions en terre exposées à des conditions réelles prouvent en maintes régions du monde qu'elles résistent à l'épreuve du temps. L'architecture en terre marocaine en est une preuve vivante. L'exigence de bonne conception, d'exécution soignée et d'entretien des bâtiments en terre convient également pour des bâtiments construits en pierre, en brique cuite, en bois ou même en béton.
- Au-delà de cette mise en garde nous voulons tout de même rappeler que le cumul des recherches et des applications menées de part le monde permet d'évaluer avec une précision relative les caractéristiques du matériau terre (se reporter aux annexes du présent dossier).
- Certaines caractéristiques physiques et mécaniques fondamentales du matériau terre énoncent implicitement des règles de bonne conception technique et architecturale.
- Par rapport à d'autres matériaux, la terre, même stabilisée, demeure extrêmement sensible aux actions de l'eau. Lorsqu'elles sont maintenues en contact de l'eau, les constructions en terre peuvent se dégrader rapidement. Ainsi, cette caractéristique de forte capillarité du matériau induit nécessairement que les constructions en terre soient abritées des multiples actions néfastes de l'eau. Ceci ne veut pas pour autant signifier que les constructions en terre doivent être totalement imperméabilisées mais convenablement protégées des possibilités d'infiltration, dans l'emprise du bâtiment et à proximité (protection haute et basse des murs, drainage des terrains). Nous précisons par la suite ces différentes actions de l'eau et l'attitude qu'il convient d'adopter pour se prémunir des risques encourus.
- Quelles que soient les améliorations apportées au matériau terre, ses caractéristiques mécaniques ne lui permettent pas de subir de fortes sollicitations en traction, ni en flexion ainsi qu'au cisaillement. De tels efforts imprimés aux constructions en terre dont la souplesse structurale demeure limitée engagent des risques de fissurations.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

- Le matériau terre travaille essentiellement en compression. Cette spécificité est assimilable à une règle de conception dont le respect permet la construction de bâtiments en terre de grande qualité. L'observation des bâtiments anciens prouve que les structures de terre principalement sollicitées en compression sont en excellent état et ne présentent pas de désordres structurels majeurs.
- Ces caractéristiques mécaniques du matériau terre obligent notamment à supprimer :
  - Le risque de tassement différentiel entre la construction et le sol (coordination étroite entre le calcul de structure et l'étude du sol, bonnes fondations et terrain résistant au poids de l'édifice).
  - l'application de charges excentrées, de poussées inclinées et horizontales, génératrices de tractions (veiller particulièrement à la stabilité des éléments reprenant les charges inclinées : piedroits, appuis d'arcs, contreforts, murs de refend).
  - Le risque de flambement et de déversement en s'assurant d'un bon dimensionnement du bâtiment (rapport correct entre la longueur, la hauteur et l'épaisseur des murs) et d'un bon contreventement (refends, chaînages, renforts).
  - L'application de contraintes concentrées sur des points ponctuels de petite surface (poinçonnement).
  - Le risque d'affaiblissement de la structure par une exécution non soignée de l'ouvrage (mauvais appareil des briques, des banchées, coup de sabre) ou par une mauvaise conception de certains éléments (concentration des ouvertures sur un même panneau de façade, mauvais positionnement, trop grandes portées des linteaux, trumeau trop faible).
- On admet également que le matériau terre est sensible aux chocs. Cette caractéristique implique une vigilance particulière pour certaines parties exposées de la construction telles que le haut et le bas des murs, les angles extérieurs, les tableaux des ouvertures, les saillies.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

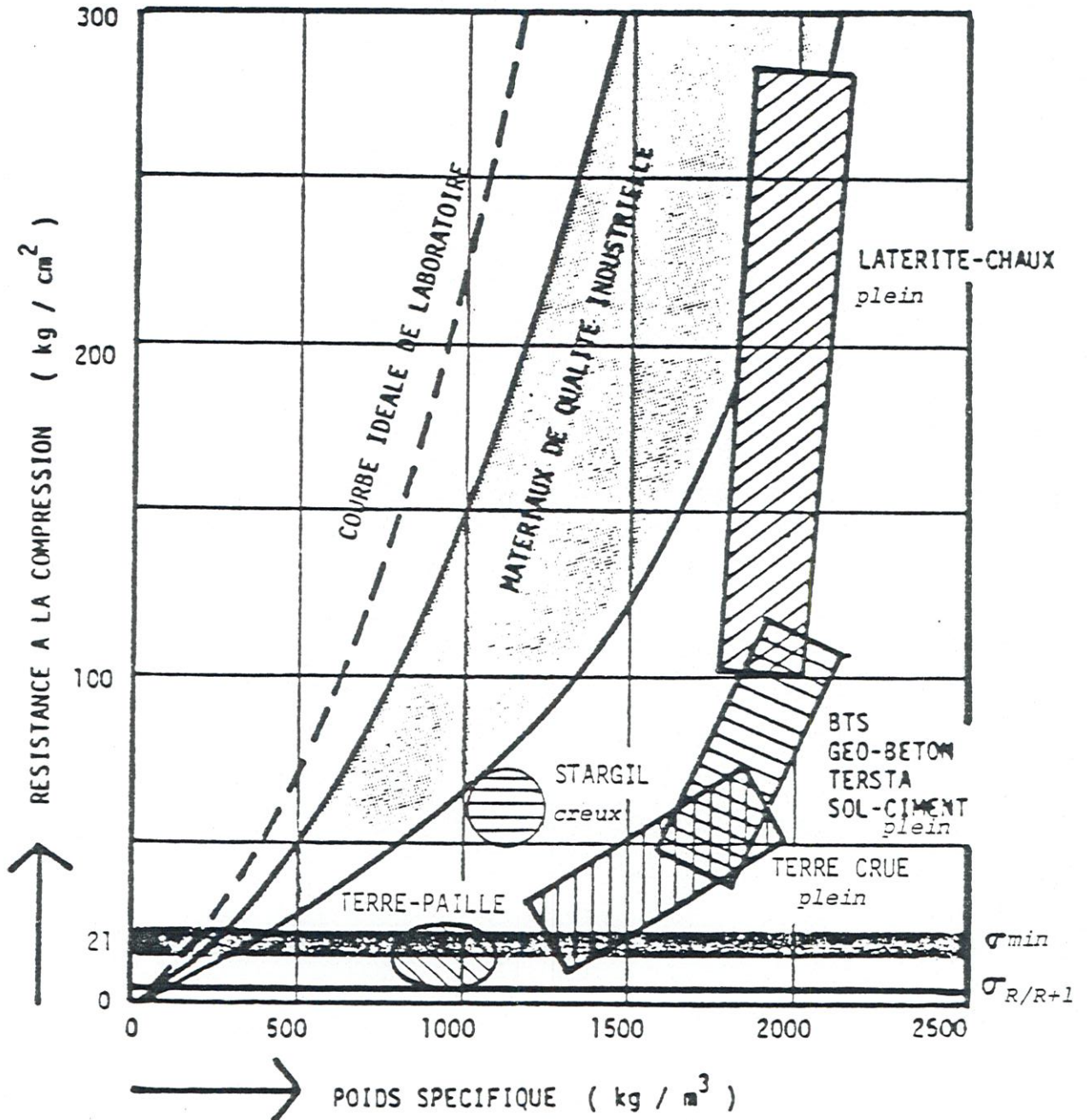
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## CARACTERISTIQUES DU MATERIAU

Résistance à la compression de la terre crue d'après différents procédés de fabrication.



Ref: VILLAGE TERRE AGRA/PLAN CONSTRUCTION. PARIS 1982.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION: CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

### • Stabilisation

- Il est aujourd'hui techniquement possible d'améliorer de façon sensible les caractéristiques mécaniques du matériau terre. La mécanique des sols a apporté des solutions en proposant des critères de sélection des terres en fonction de chaque technique de mise en œuvre. On connaît également les conditions qualitatives particulières qu'il convient de réunir afin d'exploiter au mieux les potentialités propres du matériau terre. A partir d'essais simples tels que granulométrie, sédimentométrie, limites d'Atterberg, essai Proctor, on peut prédire de façon assez exacte le comportement du matériau terre. Ainsi, suivant les résultats de ces essais et au moyen de méthodes de calcul classiques, d'abaques, de fuseaux limites, de tableaux, il est possible de fabriquer de la terre stabilisée tout comme l'on fabrique du béton (cf. littérature spécialisée citée en référence).
- On dispose actuellement de plus de 100 procédés connus sous le nom de stabilisant qui peuvent donner toutes les caractéristiques connues et souhaitées à la terre. La stabilisation classique permet d'obtenir facilement des résistances à la compression de l'ordre de 50 kg/cm<sup>2</sup> et plus puisque les procédés les plus performants élèvent cette résistance jusqu'à 400 kg/cm<sup>2</sup>.
- Il convient de rappeler que la stabilisation répond finalement à un nombre restreint d'objectifs :
  - réduire la porosité et la perméabilité du matériau (en diminuant le volume des vides entre les particules solides ou en colmatant les vides que l'on ne peut supprimer).
  - augmenter la résistance mécanique du matériau (en créant des liens ou en améliorant les liaisons existantes entre les particules).
- Pour que la stabilisation soit efficace, il est nécessaire de connaître :
  - Les propriétés de la terre que l'on souhaite traiter.
  - les améliorations visées.
  - Les produits (stabilisants) et les procédés (modes de stabilisation) que l'on compte employer.
  - Les diverses technologies de mise en œuvre (stabilisation différente selon que l'on construit en adobe, en pisé, ou en bloc comprimé).
  - Les exigences tributaires de la réalisation de l'ouvrage avec notamment les coûts et les délais (économie globale du chantier).
  - Les conditions ultérieures d'entretien des ouvrages (coûts différés de maintenance).

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

#### MURS EN B.T.S. NON PROTÉGÉ A LA BASE (BTS 67, 15 ans après)



Bien que protégé en son sommet, ce mur en B.T.S. dépourvu de soubassement présente une pathologie typée très avancée : rejaillissement des pluies, ruissellement au pied du mur, forte humidité, creusement de la base du mur.

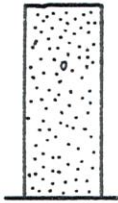
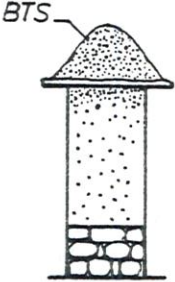

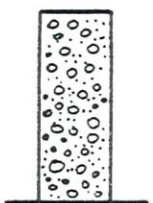
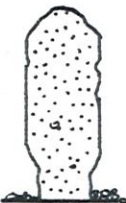
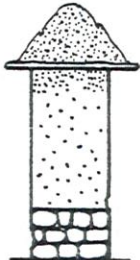
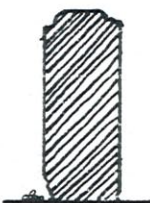
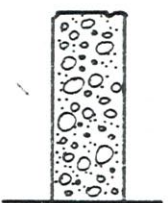

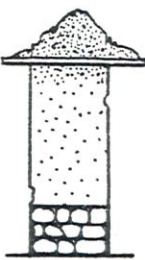

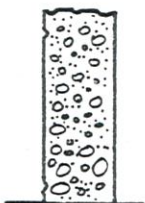
## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

	MURS NON STABILISES		MURS STABILISES	
COMPOSITION	ARGILE + GRANULATS	ARGILE + GRANULATS	ARGILE + GRANULATS + STABILISANT	GRANULATS + CIMENT
DURÉE THÉORIQUE	NON PROTÉGÉS	PROTÉGÉS	NON PROTÉGÉS	NON PROTÉGÉS
AU DEMOULAGE				
10 ANS APRES				
50 ANS APRES				
APPELLATION COMMUNE	PISE	PISE	BTS	BETON

AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre ◉ 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

- Une bonne stabilisation doit permettre une amélioration notable des caractéristiques physiques (réduction de la sensibilité à l'eau, p.e.) et mécaniques (augmentation de la résistance) du matériau terre. Il s'agit d'une technologie optimale compatible avec les délais d'exécution, les coûts de réalisation et d'entretien, l'ensemble des exigences techniques et économiques du programme.
  - La stabilisation du matériau dans la masse n'est pas économique (coût du stabilisant ajouté de celui des opérations de production en sus).
  - Stabiliser le matériau sans protéger les points faibles du bâtiment (le bas du mur, p.e.) est une mauvaise démarche qui ne supprime pas le risque de dégradation (cf. illustration suivante).
  - Associer une stabilisation de surface des points faibles à une protection de nature architecturale est la démarche la plus efficace.
- La stabilisation est donc un problème complexe. On ne saurait trop rappeler qu'une mauvaise stabilisation peut entraîner des effets contraires à ceux qui sont recherchés et donc des conséquences très néfastes. Les constructions en terre même très bien stabilisées mais mal conçues se dégradent aussi vite si ce n'est plus vite que des constructions en terre non stabilisées mais bien conçues. Bien que pouvant apporter des améliorations sensibles, la stabilisation n'est pas une solution panacée à laquelle il faut avoir systématiquement recours.
- Il est tout d'abord préférable d'exploiter au mieux toutes les possibilités qu'offre une conception architecturale adaptée au matériau terre.
- **Normes, D.T.U.**
- Le R.E.E.F. fait état d'un Document Technique de la Construction en 3 cahiers relatifs à la construction en terre. Ces textes inclus à la rubrique générale concernant les murs sont répertoriés sous les codes D.T.C. 2001, D.T.C. 2101 et D.T.C. 2102 et sont respectivement intitulés : "Béton de Terre et Béton de Terre Stabilisée", "Construction en Béton de Terre" et "Béton de Terre Stabilisée aux Liants Hydrauliques". Ces documents techniques homologués par le B.N.R. en 1945 sont depuis lors les seuls textes qui servent de référence ; ils n'ont fait l'objet d'aucun complément. Les textes techniques les plus récents sont ceux qui ont été élaborés dans le cadre de l'opération expérimentale "Village Terre" de l'Isle d'Abeau (cf. documents cités en référence).

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** ◻ 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

### 2.4. CONCEPTION ARCHITECTURALE ADAPTÉE AU MATÉRIAU TERRE.

- Plusieurs dictons régionaux rappellent avec sagesse qu'une maison en terre bien conçue peut endurer les siècles sans dommages majeurs. Beaucoup d'architectures traditionnelles en terre le prouvent sans ambiguïté. C'est précisément par un **"savoir bien construire en terre"** que l'on peut notamment réduire les actions nocives de l'eau, ennemi majeur, et considérablement augmenter la durée de l'édifice.
- On est malheureusement souvent forcé de constater que le "savoir bien construire" est éclipsé par un nouveau savoir que l'on dénommera ici le **"savoir blinder"**. La tendance actuelle fait davantage appel à l'ingénierie, 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.
- En omettant d'adopter des dispositions de protection du **"bâtiment"** qui sont de nature architecturale élémentaire (protection haute et basse des murs, p.e.), pour privilégier la surprotection du **"matériau"**, le concepteur n'aura pas pour autant résolu tous les problèmes que pose la construction en terre.
- 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 œuvre du matériau (multiplication des stades de production, cf. filières) et donc à augmenter inévitablement le coût global de la production du bâtiment.
- 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"**. Il est vrai, dans le cas de la construction en terre que le blindage peut être nocif. Citons par exemple le cas trop fréquent d'un enduit extérieur totalement étanche qui favorise l'accumulation de l'humidité entre le mur de terre et l'enduit (condensation sur mur froid). Cette pathologie humide cachée cause des dégradations parfois irréversibles.



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

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

- Quelles que soient leur situation géographique, leur configuration ou leur destination, les architectures de terre décrivent des éléments de construction dont le traitement technique et architectural est intimement lié aux qualités propres du matériau mais aussi à ses faiblesses. Le traitement de ces éléments exige un grand soin sur le plan de leur conception et de leur mise en œuvre qui assure une qualité architecturale et une bonne tenue des constructions dans le temps.
- L'observation attentive des architectures de terre traditionnelles du Maroc, que ce soient les constructions rurales, douars, ksours, ou les constructions édifiées en milieu urbain, révèle quelques faiblesses dues au traitement parfois sommaire des éléments de construction. Ce manque de précaution suscite une pathologie très typée (érosion de la base et du haut des murs, p.e.).
- Les solutions traditionnelles mises en œuvre 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 haute à la chaux, au tadelakt, 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 modération : 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'œuvre 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.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## 3. DEGRADATIONS TYPÉES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### 3.1 . LES ACTIONS DES PRINCIPAUX AGENTS DE DÉGRADATION

- **Les actions les plus typées de l'eau et de l'humidité**
- L'eau et l'humidité sont les plus grands ennemis des constructions en terre ; du fait de leur fraction argileuse, les matériaux de terre y sont très sensibles. En présence d'eau, la structure argileuse du matériau a tendance à se désorganiser (dispersion moléculaire). Les cycles répétés de gonflement (absorption) et de retrait au séchage éprouvent durement le matériau (fissuration de surface). L'action de l'eau est particulièrement néfaste sur un matériau qui présente des caractéristiques de porosité et de perméabilité marquées (indice des vides élevé) et sur un terrain de pathologie humide permanente du fait de cycles de mouillage répétés.
- En cas de pluie, l'action de l'eau prend plusieurs formes que résume **le système de la goutte d'eau** :
  - **impact**
  - **ruissellement**
  - **absorption**
  - **infiltration**
  - **rejaillissement.**
- En saison froide, l'influence du gel-dégel est particulièrement sensible sur les matériaux de terre très poreux, déjà humides ou présentant des altérations de surface ou dans son épaisseur (fissures, trous de clés non rebouchés dans un mur en pisé, p.e.) qui occasionnent une rétention d'eau. Lors du changement d'état de l'eau en glace, il y a risque d'éclatement du matériau.
- L'humidité est un second stade de l'action de l'eau. Par suite d'un mouillage fréquent des murs, d'infiltrations ou de condensations, l'eau est absorbée par le matériau. L'humidité qui en résulte est plus ou moins importante suivant l'hygroscopie, la granularité, la densité et la porosité du matériau.
- L'absorption d'humidité s'opère par **perméabilité** et par **capillarité** ; celles-ci sont d'autant plus marquées que le matériau présente une porosité élevée. La porosité du matériau est notamment fonction de :
  - la composition du matériau (porosité plus élevée pour des matériaux à forte teneur en argile et moins élevée pour des matériaux à forte granularité inerte : sables grossiers).
  - La mise en œuvre du matériau (compactage insuffisant des blocs compressés ou du pisé, p.e.).

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

- Les **remontées capillaires** sont une forme d'action malsaine de l'humidité. En cas de forte capillarité, la terre humide peut évoluer vers un état plastique ; la résistance mécanique du matériau en est considérablement affaiblie.
- L'humidité peut également occasionner l'apparition de mousses ou de champignons. Ceux-ci sont visibles sous forme de taches de couleur blanche, brune ou verte. Ces parasites qui résultent de l'humidité occasionnent une altération de surface du mur.
- Face à ces actions destructrices de l'eau et de l'humidité, il convient d'adopter des solutions de protection des constructions en terre et notamment des parties très exposées (base et haut du mur). Ces protections ne devront pas contrarier l'évaporation (séchage) de l'eau et de l'humidité retenues par le matériau (p.e., le cas préalablement cité d'un enduit trop étanche).

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

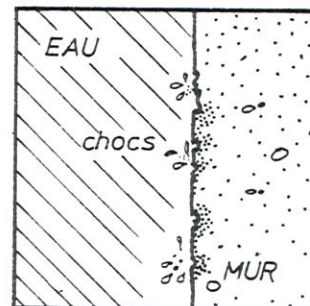
## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

- **Actions de l'eau et de l'humidité :** principes d'action

- **La pluie :** le système de la goutte d'eau

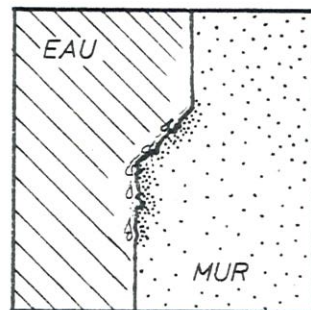
- **L'impact**

L'impact direct et répété de la pluie violente — forte averse — ou rabattue par le vent, risque d'altérer la surface du mur de terre. Effritement.



- **Le ruissellement**

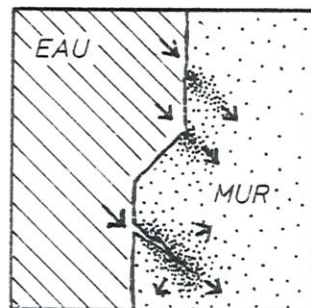
Par suite de l'impact de la pluie, l'eau a tendance à s'écouler le long du mur. Sur les plans verticaux, le ruissellement est réduit du fait d'une absorption de l'eau par le matériau. Le ruissellement est par contre plus important sur les plans inclinés (solins, contreforts). Erosion de surface et rejet de l'eau au pied du mur, effet cumulé du rejaillissement.



- **Infiltration**

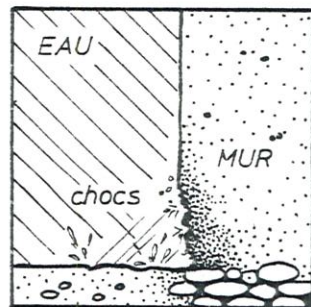
La pluie rabattue par le vent ou ruisselante s'infiltré dans les fissures existantes. L'infiltration peut être particulièrement importante à l'entour des éléments saillants et rentrants (fenêtres notamment) et à la liaison de matériaux différents (bois + terre — linteaux et jambages en bois par exemple).

Erosion de surface, creusement.



- **Rejaillissement**

L'eau de pluie rebondit sur le sol, sur un auvent trop plat, sur un objet posé au pied du mur, sur une protection basse maçonnée (muret saillant) dépourvue de pente de drainage et frappe directement le mur de terre. Effritement, creusement, effondrement des parties de mur.



AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

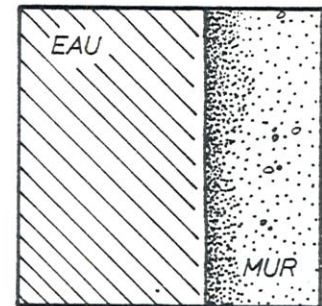
REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## DEGRADATIONS TYPÉES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

- **L'absorption**

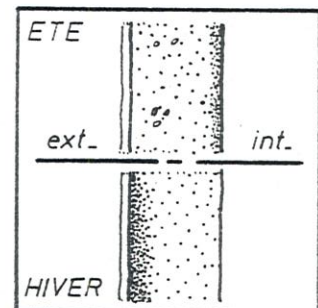
L'absorption de l'eau par le mur de terre est immédiate lors des pluies, aux différents stades précités de l'impact du ruissellement de l'infiltration et du rejaillissement. L'eau absorbée devient de l'humidité retenue en surface et diffusée dans l'épaisseur du mur (capillarité). L'action de l'absorption est d'autant plus néfaste que le matériau est très poreux (le cas d'un pisé mal damé, p.e.) ; pathologie humide.



- **L'action de l'humidité**

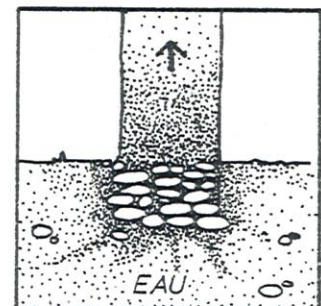
- **Condensation**

La condensation (humidité sous forme de vapeur d'eau) peut apparaître sur le parement d'un mur froid, à l'extérieur en saison froide (entre le mur et un enduit trop étanche, p.e.), à l'intérieur en saison chaude, ou dans une salle d'eau mal ventilée. Lorsque l'évaporation est impossible, la condensation peut occasionner une désagrégation importante du mur de terre, d'autant plus malsaine qu'elle est souvent dissimulée ; pathologie humide.



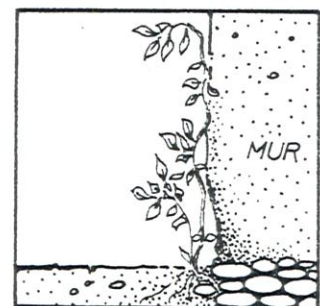
- **Remontées capillaires**

L'eau absorbée par le sol ou retenue par les fondations s'élève verticalement dans l'épaisseur du mur (transfert du matériau humide vers le matériau sec) du fait de la capillarité du matériau. Les remontées capillaires peuvent susciter un changement d'état du matériau (état plastique) et causer de graves altérations. Effritement des particules humides, creusement, effondrement.



- **Parasites végétaux**

L'état pathologique humide avancé provoque l'apparition d'efflorescences, de champignons, de mousses et de lichens. Ces parasites de surface accusent un effritement superficiel du matériau.



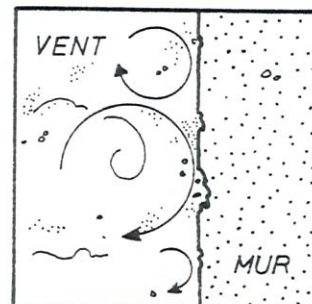
- **L'action du vent**

- Le vent exerce une action mécanique sur la surface des murs de terre. L'érosion due au vent est notoire sur les parois les plus directement exposées à la direction des vents dominants ; elle est faible, voire nulle pour les parois peu exposées.
- L'action du vent est d'autant plus marquée lorsqu'il transporte des particules en suspension (le cas du vent de sable, p.e.) ou lorsqu'il s'agit d'un vent de pluie : la pluie battante s'infiltré plus facilement dans les fissures des murs. En cas de pathologie humide des murs, le vent érode davantage la surface du matériau, entraînant les particules qui ont perdu leur résistance structurale du fait de l'humidité (effritement, creusement).
- Les effets tourbillonnaires du vent sont plus sensibles sur certaines parties de l'édifice.
  - effet de Venturi au sol, entre 2 bâtiments rapprochés (creusement de la base des murs)
  - effet de coin aux angles des murs.
  - turbulences sous les acrotères de terrasse, à proximité des éléments saillants ou rentrants (auvents, fenêtres, portes).
- En cas de vent très violent, les chocs imprimés aux murs par des objets transportés peuvent occasionner des altérations localisées.

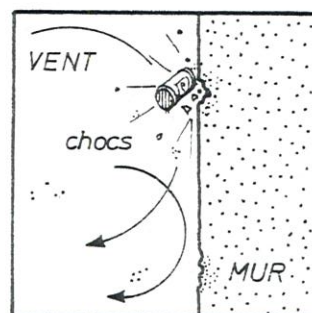
# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

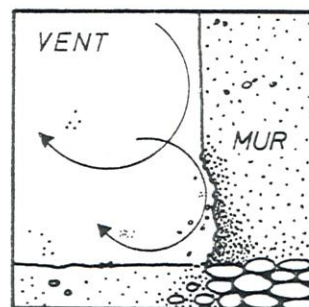
- L'action du vent : principes d'action
- Les parois les plus exposées aux vents dominants sont érodées en surface. L'action du vent est d'autant plus néfaste lorsqu'il transporte des particules en suspension (tempête de sable, p.e.) ou lorsqu'il rabat la pluie contre les murs.



- Le vent violent transporte des objets qui peuvent occasionner des chocs ponctuels : effritement de surface, arrachement du matériau.



- Le vent est particulièrement agissant sur un terrain de pathologie humide des murs de terre. Les turbulences peuvent arracher les particules de surface dont la résistance structurale est amoindrie par l'humidité. Creusement.



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

### • Actions des êtres vivants

- Les bâtiments en terre sont sensibles aux actions des êtres vivants. Si cette sensibilité est légèrement supérieure à celle que présentent des constructions en maçonnerie, elle procède des mêmes phénomènes. Sur des constructions en terre dont les points faibles et les plus exposés sont convenablement protégés, les désordres qui procèdent de l'activité du monde vivant peuvent être négligeables.

### Activités humaines

Les nombreuses activités quotidiennes de l'homme, qu'elles soient liées au travail ou au loisir font appel à l'usage d'outils, d'objets multiples. Leur emploi dans l'emprise du bâtiment ou dans sa proximité immédiate peut occasionner des heurts. Ce sont ainsi des chocs ponctuels contre les murs intérieurs du mobilier que l'on déplace dans les pièces d'habitation, c'est l'ambiance humide d'une salle-de-bains mal ventilée (condensation), c'est le lavage des sols qui projette de l'eau contre la base des murs non protégés, ce sont les portes et les fenêtres, les volets qui battent par jour de grand vent et qui détériorent les tableaux de maçonnerie. A l'extérieur, ce sont la voiture ou la charette mal guidées qui heurtent le mur ou érodent les angles du bâtiment au passage d'un coin de rue, ce sont les jeux, parfois intempestifs, des enfants, l'arrosage des végétaux plantés trop près des murs de terre, l'imperméabilisation de surface des rues jusqu'au pied des murs (goudronnage, trottoir sans pente de drainage qui favorisent le rejaillement de la pluie contre la base des murs ou qui contrarient l'évaporation naturelle du sol humide).

On pourrait ici multiplier les exemples d'activités de l'Homme qui peuvent altérer sensiblement les murs de terre lorsqu'il ne sont pas convenablement protégés en leurs parties les plus exposées.

### Activités des animaux, présence des végétaux

Les animaux peuvent détériorer les constructions en terre. En milieu rural, c'est par exemple le bétail qui se frotte contre les murs ou contre l'angle d'un bâtiment, qui lèche le salpêtre et les efflorescences résultant de l'humidité.

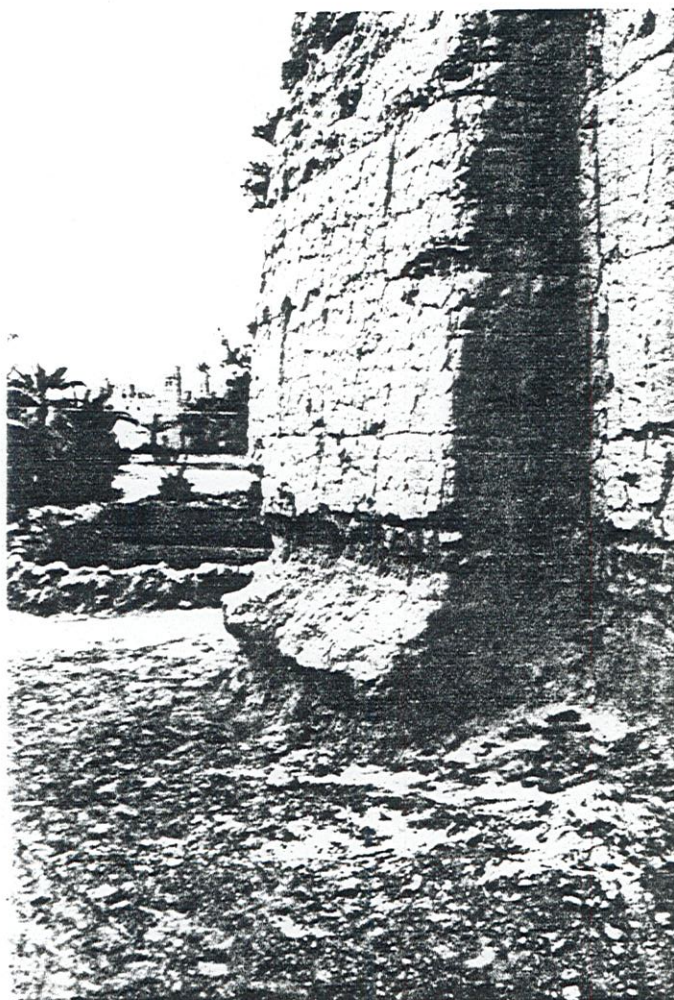
Lorsqu'ils trouvent un terrain favorable (humidité, fissures existantes, déchets éparpillés), les petits rongeurs et les insectes peuvent attaquer les murs de terre en creusant des galeries. Sur les murs de pisé, il peut arriver que les oiseaux nichent dans les trous de clés de banches non rebouchés, ayant tendance à élargir l'orifice qui offrira davantage de prise à l'action de la pluie (infiltration).



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

Enfin, les constructions en terre sont sensibles à l'action des mousses, des lichens, des champignons. Cette action est particulièrement notoire sur les murs abrités du soleil et qui présentent une pathologie humide avancée favorisant le développement des végétaux parasites. On note aussi l'importance d'un maintien des plantations florales et arbustives à distance des bâtiments afin de prévenir les altérations dues à la poussée des racines ou à l'arrosage.



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

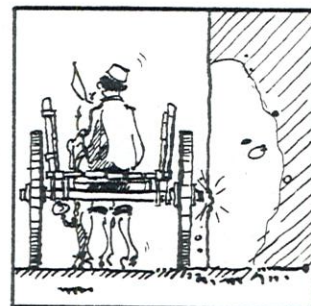
## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

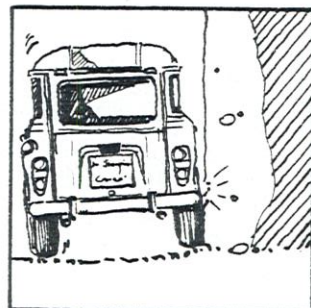
- **Actions des êtres vivants : principes d'action**

- Les murs de terre peuvent être altérés par des heurts résultant des actions de l'activité humaine et animale. Quelques exemples :

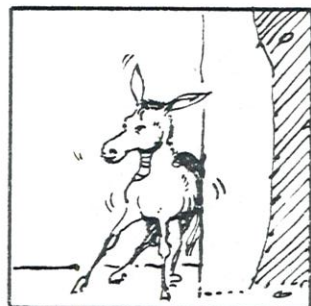
- choc résultant du passage d'une charette : effritement, arrachement du matériau.



- choc résultant du passage d'une voiture : effritement, arrachement du matériau



- frottement d'un animal : érosion de surface, creusement.



- jeux d'enfant : frappe violent d'un ballon contre le mur ; érosion de surface.



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

### LES POINTS FRAGILES DES CONSTRUCTIONS EN TERRE

- Nous isolons par la suite les parties des constructions en terre qui offrent le plus de faiblesses aux principaux agents de dégradation de l'environnement bioclimatique et du monde vivant.
- Les parties les plus exposées, lorsqu'elles sont mal protégées sont :
  - la base du mur
  - le haut du mur.
- Les autres points faibles localisés, tableaux d'ouvertures, acrotère, gargouilles, etc..., sont inclus au traitement du bas et du haut du mur.
- Des illustrations didactiques rapprochent les agents, les causes et les formes de dégradation sur un mode visuel afin de faciliter une compréhension immédiate des phénomènes pathologiques les plus remarquables.
- Ces représentations attirent le regard des concepteurs sur les parties clés de l'édifice qui exigent une attention particulière et un traitement de protection de nature architecturale très soigné.

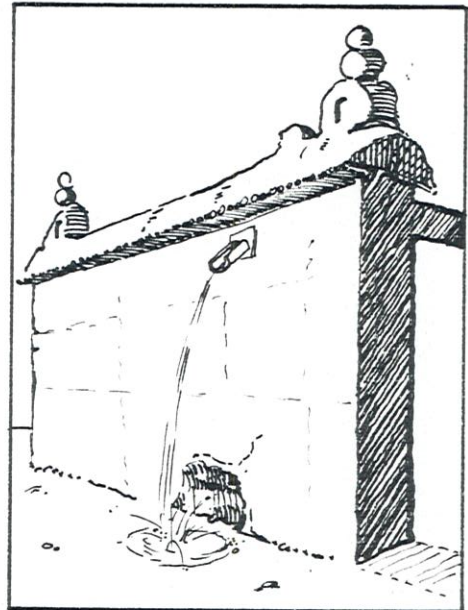
# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

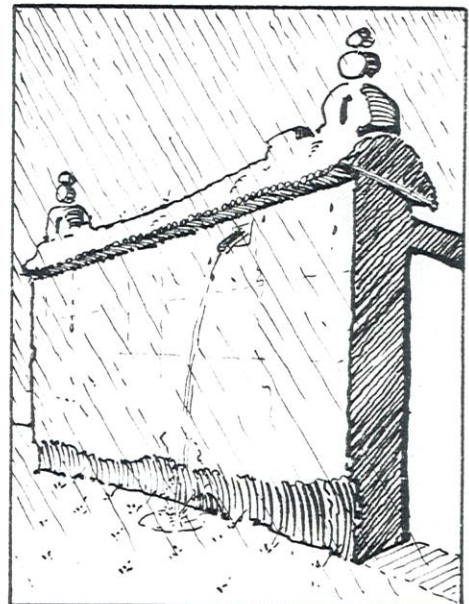
PATHOLOGIE CLASSIQUE DU BAS DU MUR NON PROTÉGÉ

ACTION DE L'EAU : LE REJAILLISSEMENT

nettoyage des terrasses à grande eau ;  
jet de gargouille et rejaillissement au pied  
du mur : **creusement localisé.**



jour de pluie battante, évacuation de l'eau  
de toiture ; jet de gargouille et rejaillis-  
sement de la pluie au pied du mur :  
**creusement progressif de la base.**



**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

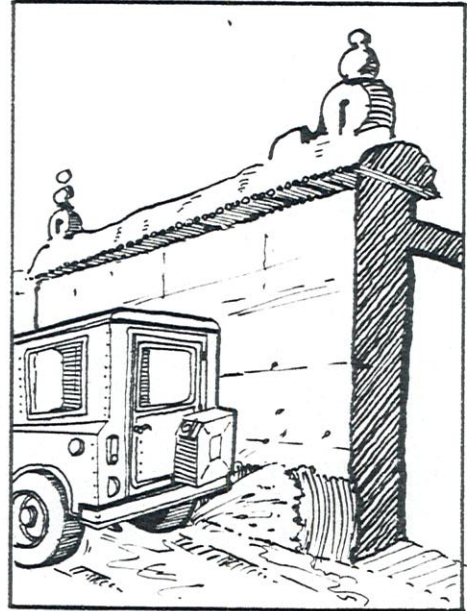
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

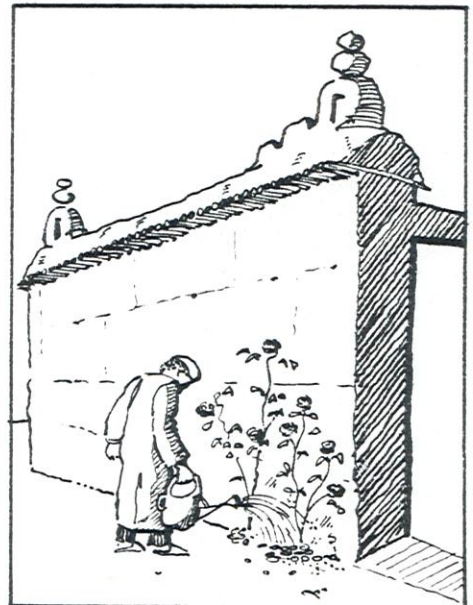
## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

passage de voiture à proximité du mur, éclaboussure de flaque d'eau ; accentuation de l'érosion due au rejaillissement des pluies : **creusement localisé accentué.**



arrosage de fleurs plantées trop près du mur, rejaillissement du jet d'arrosoir, pathologie humide, érosion de surface et **creusement localisé progressif.**



PR83

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

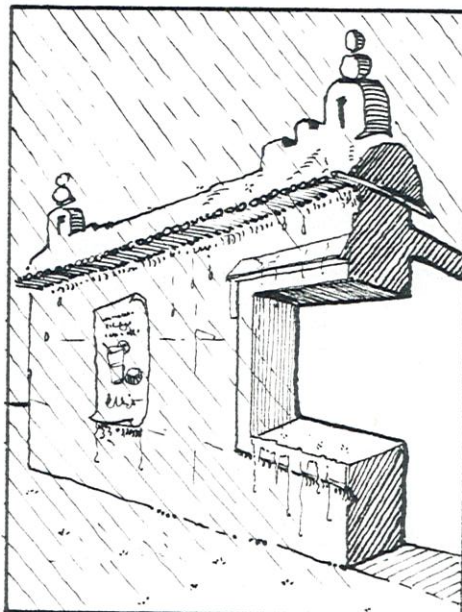
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

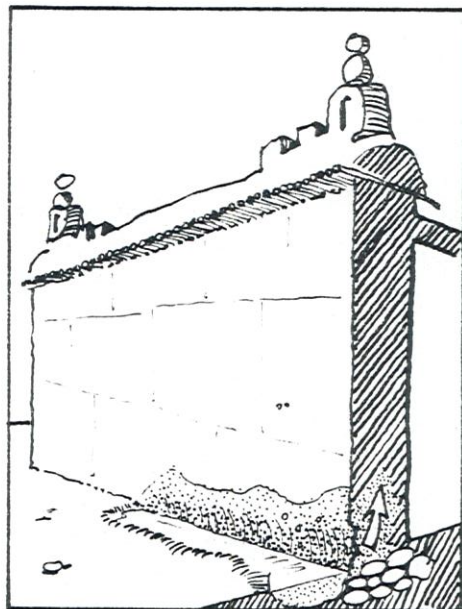
### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU BAS DU MUR NON PROTÉGÉ

#### ACTION DE L'EAU : RUISSELLEMENT

jour de pluie, l'eau ruisselle sur le tableau d'une fenêtre, l'érosion est particulièrement sensible sous l'appui qui ne permet pas le rejet de l'eau.

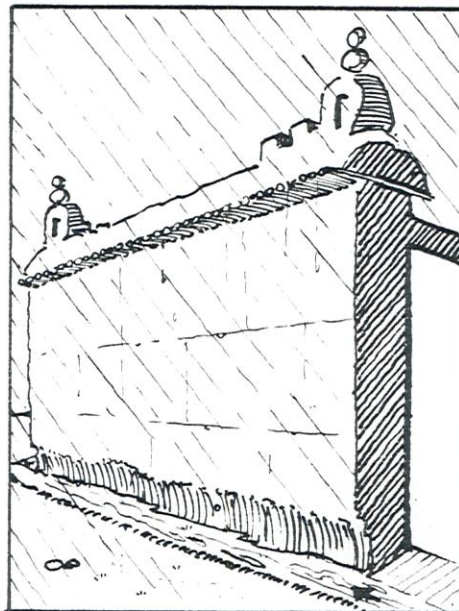


les abords immédiats du mur sont mal drainés. L'eau ruisselle et creuse progressivement la base du mur.

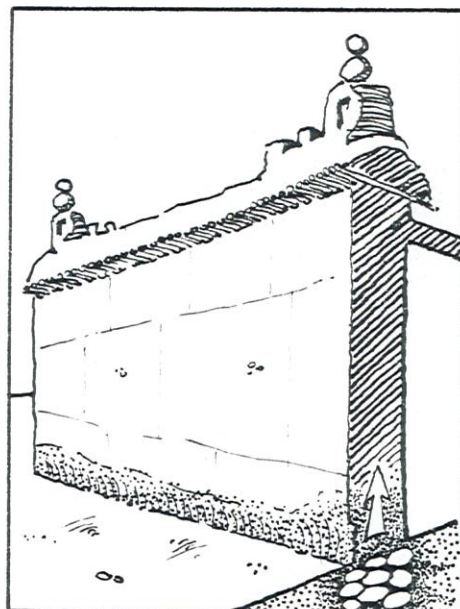


### ACTION DE L'HUMIDITÉ : REMONTÉES CAPILLAIRES

pathologie humide due à une stagnation d'eau ; absorption et remontées capillaires par le pied du mur ; celui-ci, dépourvu de bonnes fondations, de soubassement et d'arase sanitaire se creuse en sa base.



remontées capillaires par les fondations ; pathologie humide qui entame un creusement de la base du mur. Cette érosion peut évoluer vers un effondrement de parties du mur.

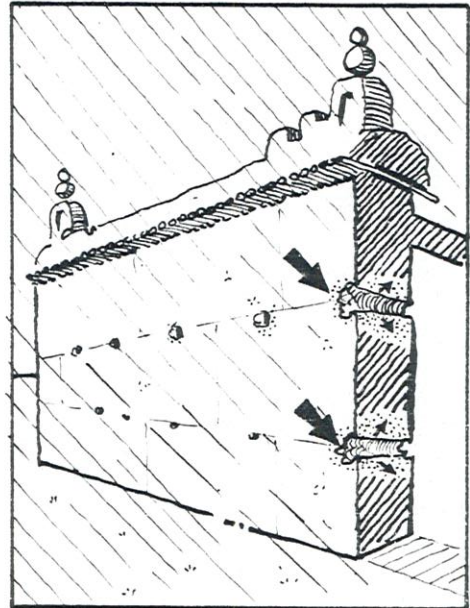


PR 83

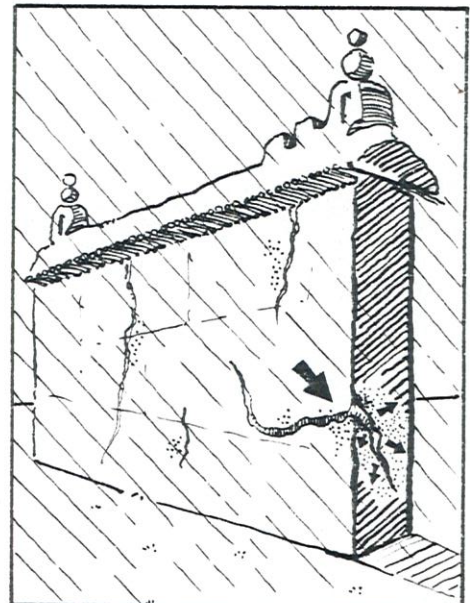
### PATHOLOGIE CLASSIQUE DE QUELQUES ÉLÉMENTS LOCALISÉS

#### ACTION DE L'EAU : INFILTRATION

les trous laissés libres par l'enlèvement des clés de banches, non rebouchés, laissent s'infiltrer l'eau de pluie ; élargissement de l'orifice, absorption d'humidité et diffusion capillaire.



les fissures structurales non colmatées sont une voie libre à l'infiltration des pluies. Erosion qui contribue à élargir la fissure, absorption d'humidité et diffusion capillaire.

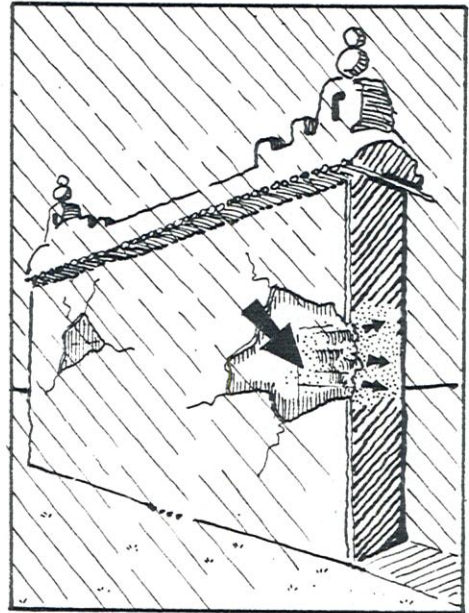




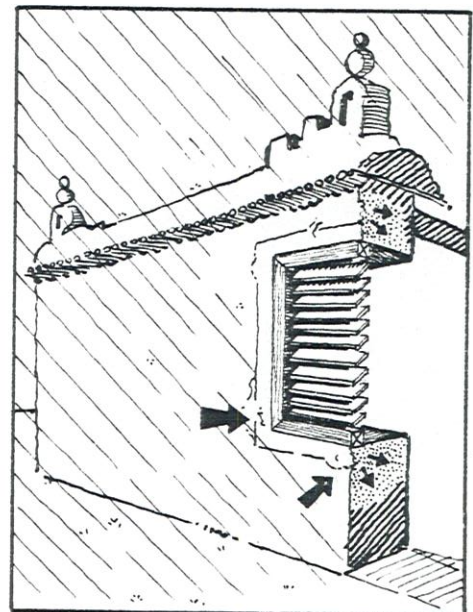
# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

les tableaux d'ouvertures dégradés sont particulièrement exposés à une dégradation lente par la pluie. L'infiltration est forte à la liaison des matériaux (cadre en bois et pisé) et sous l'enduit dégradé, creusement lent, absorption et diffusion capillaire.



une plaque d'enduit décollée rend le pisé vulnérable, parfois plus que lorsqu'il n'est pas enduit. Infiltration entre l'enduit et le pisé, absorption et diffusion capillaire.



PR 83.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre**

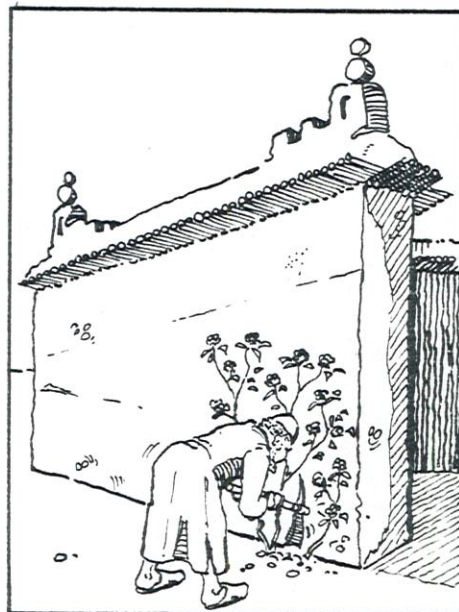
© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU BAS DU MUR NON PROTÉGÉ

#### L'ACTIVITÉ HUMAINE

nettoyage des abords à grande eau ;  
projection contre le bas du mur, rejaillissement et creusement de la base.



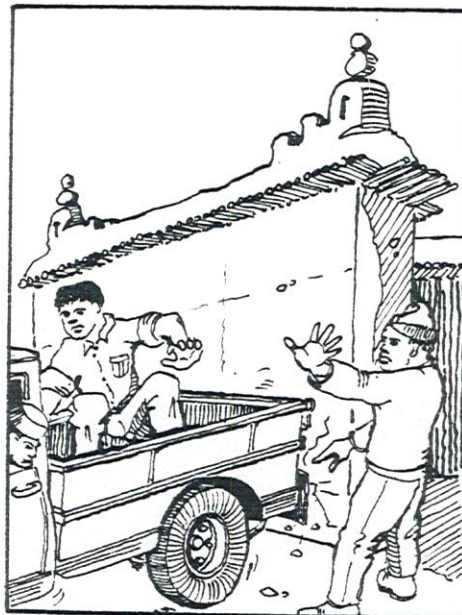
travaux de jardinage, plantations au pied  
du mur ; risque d'endommagement de la  
base du mur qui pourra être amplifié  
par un arrosage ultérieur des plantes  
(cf. rejaillissement).



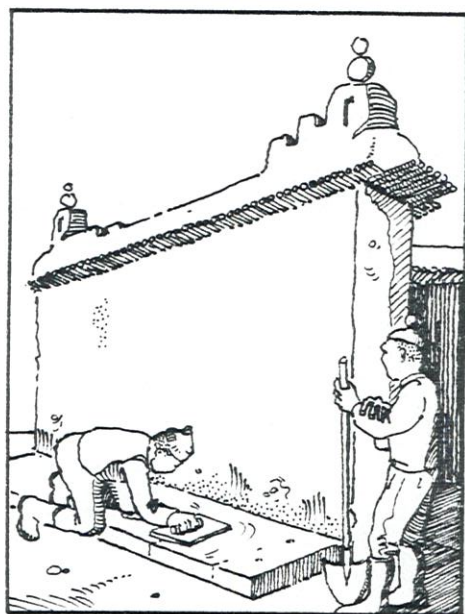
## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

manœuvre de voiture imprudente, choc sur la base du mur; érosion + ou - importante selon l'intensité du choc, creusement.



travaux d'imperméabilisation des abords immédiats (voirie, trottoir). Le rejaillissement de l'eau sur cette surface lisse, l'obstacle à l'évaporation de l'humidité risquent de créer une forte pathologie humide.



PR.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre • 1983

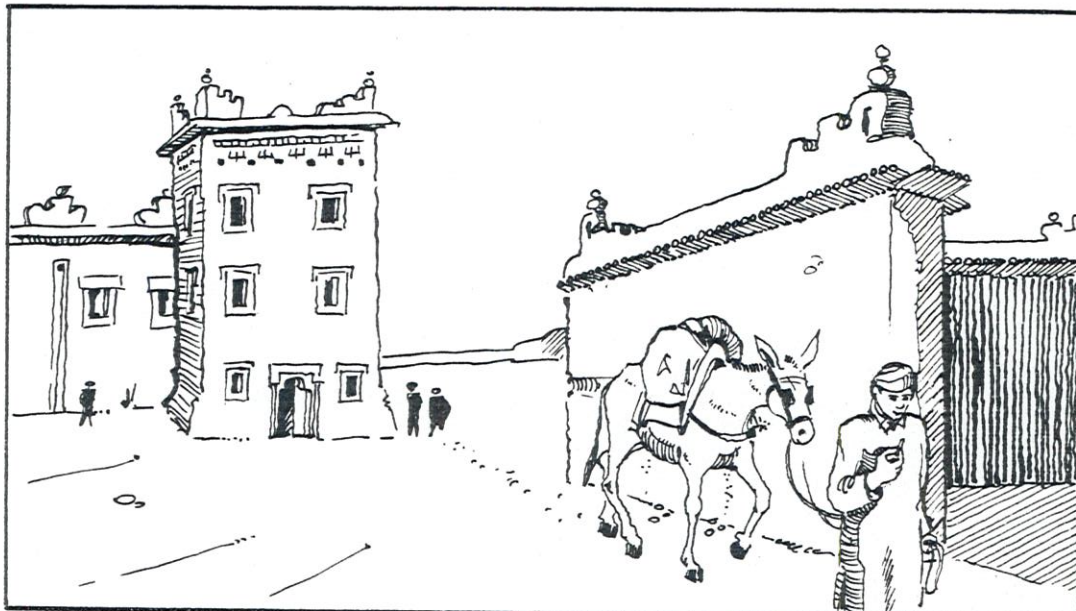
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

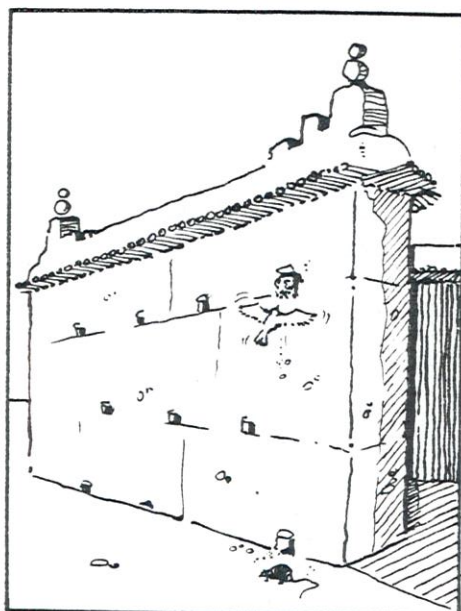
## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU BAS DU MUR NON PROTÉGÉ

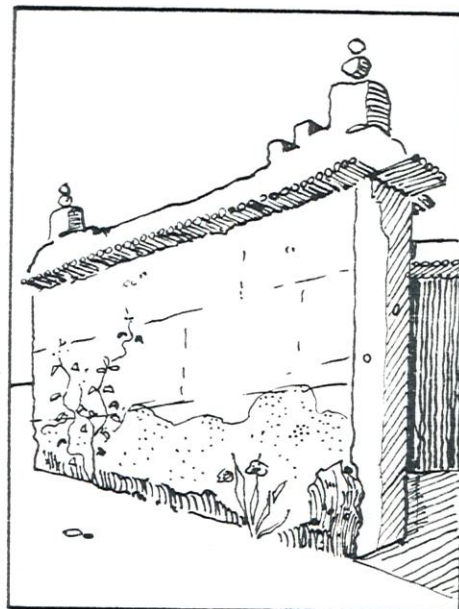
#### ACTION DES ETRES VIVANTS



il arrive que le bétail ou les bêtes de somme se frottent contre les murs de terre. L'angle des bâtiments est particulièrement exposé à cette situation qui occasionne une érosion de surface, voire même un arrachement du matériau.



les trous de clés non rebouchés sont propices à la nidation d'oiseaux ou de rongeurs qui altèrent progressivement le matériau.



une forte pathologie humide du bas du mur favorise l'apparition d'efflorescences, de mousses, de champignons. Ces parasites de surface contribuent à une lente érosion du matériau.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

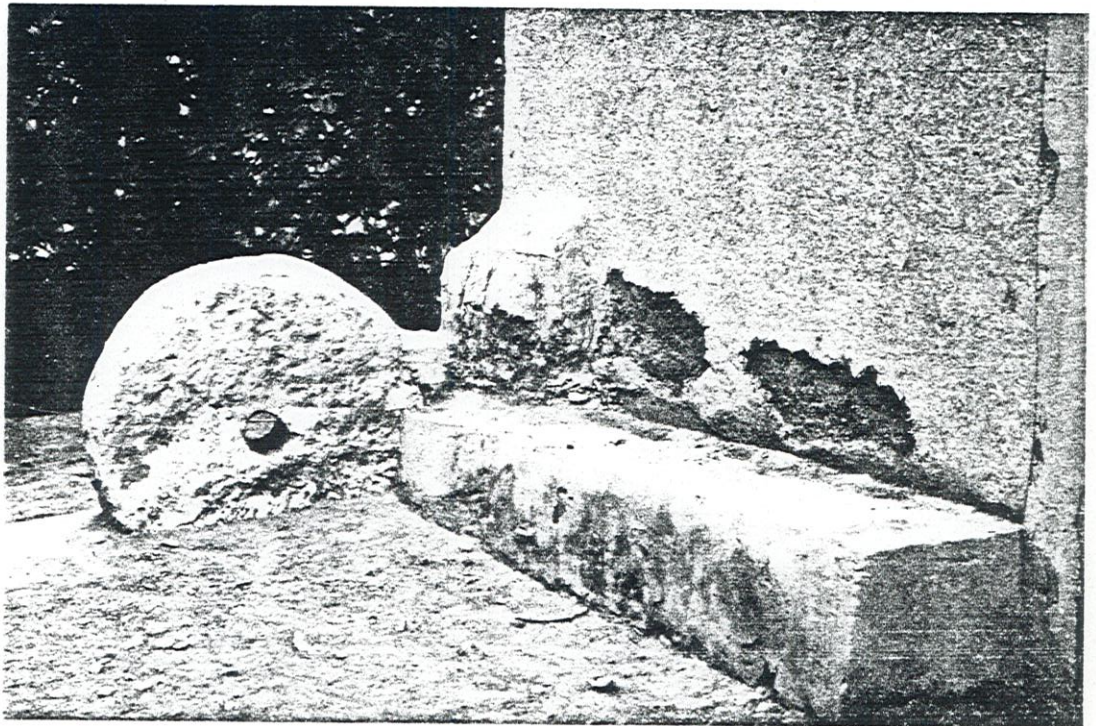
**PATHOLOGIE DU BAS DU MUR**



**rejaillissement**

Le soubassement incliné en terre n'a pas résisté aux actions répétées de la pluie ; ruissellement et creusement, double zone d'érosion due au rejaillissement.

**PATHOLOGIE DU BAS DU MUR**



**rejaillement**

le bas du mur, même protégé par une banquette maçonnée présente une érosion due au rejaillement des pluies ; la banquette est dépourvue de pente, le matériau "dur" favorise le rebond de l'eau contre le mur.

### PATHOLOGIE DU BAS DU MUR

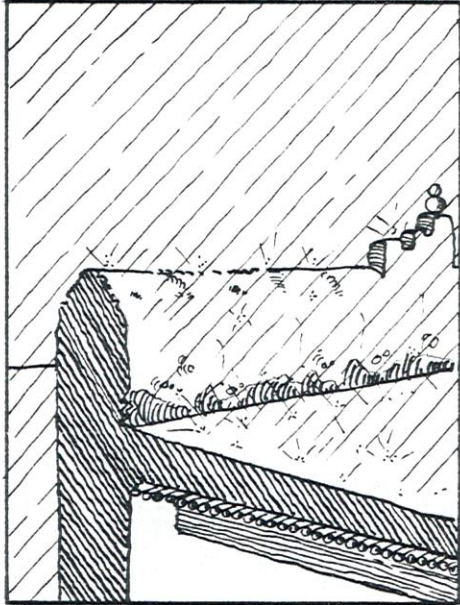


Le ruissellement, le rejaillissement, les remontées capillaires ont considérablement érodé la base de ces murs qui étaient enduits au Tadellakt mais dépourvus de soubassement. Les angles renforcés en brique cuite sont également touchés.

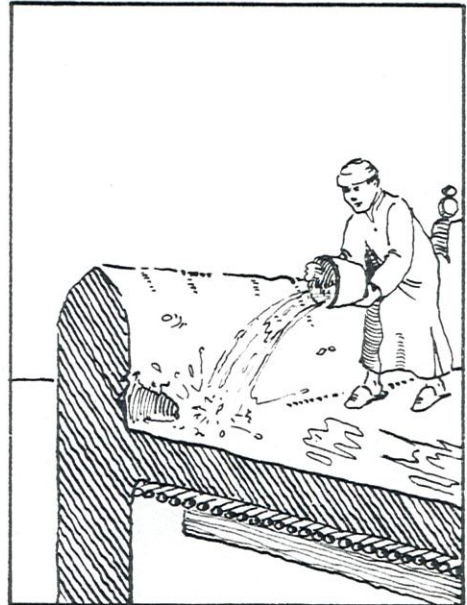
## DEGRADATIONS TYPÉES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU HAUT DU MUR

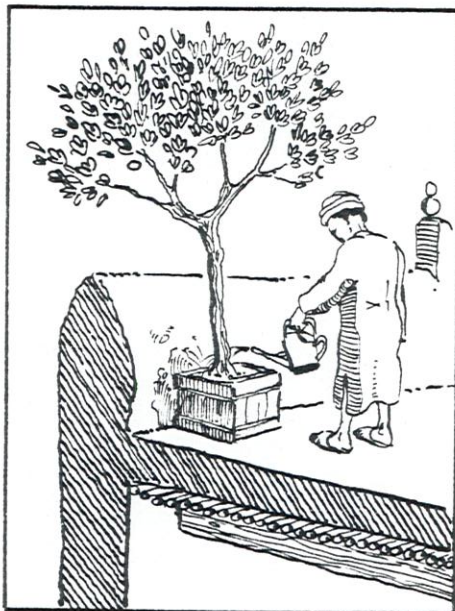
#### ACTION DE L'EAU : REJAILLISSEMENT



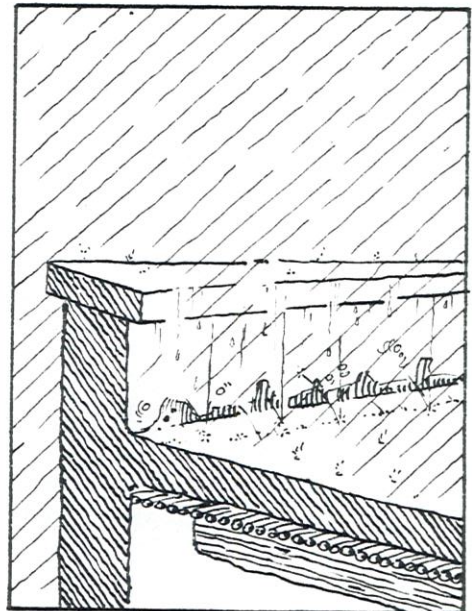
pluie battante qui rejaillit contre la base non protégée de l'acrotère : creusement.



nettoyage des terrasses, jet violent contre l'acrotère non protégé ; ravinement de surface, creusement localisé de la base.



arrosage de jardinières ou de bacs plantés ; risque d'altération de l'acrotère.



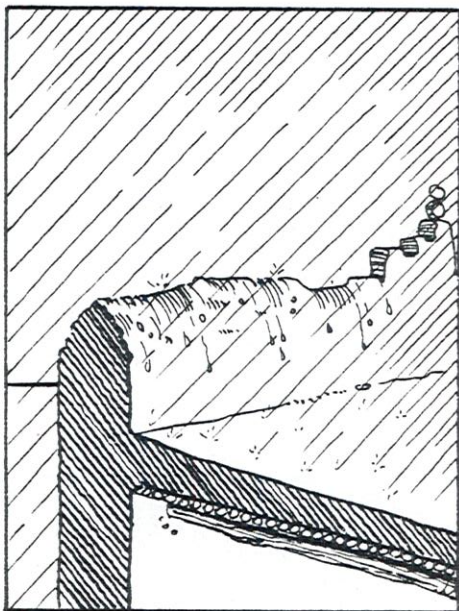
chapeau de protection mal conçu et favorisant le ruissellement qui s'augmente du rejaillissement contre la base de l'acrotère : creusement.



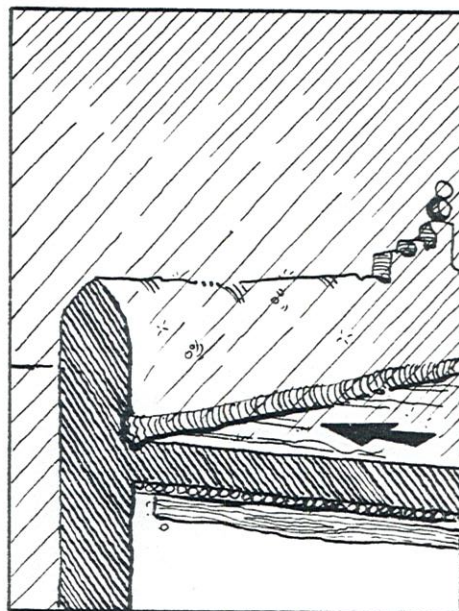
## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU HAUT DU MUR NON PROTÉGÉ

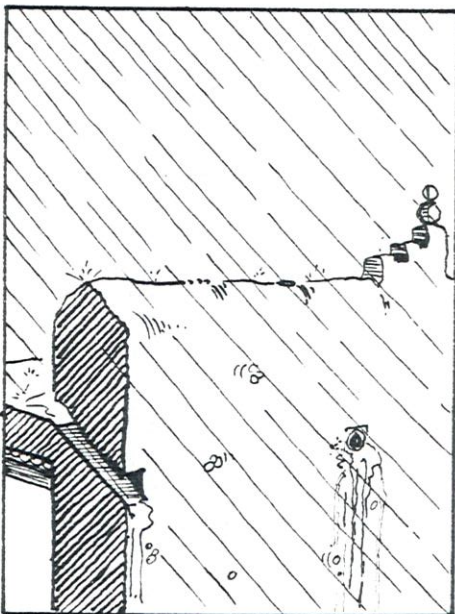
#### ACTION DE L'EAU : RUISSELLEMENT



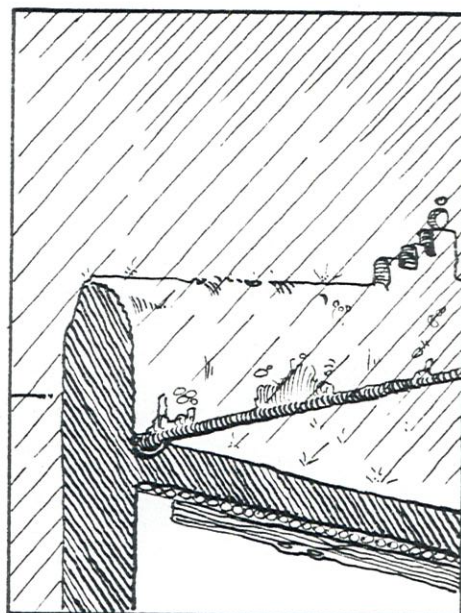
sur l'acrotère non protégé, l'eau de pluie ruisselante érode la surface et fait progressivement "fondre" l'ouvrage.



la terrasse est trop pentue et mal drainée au pied de l'acrotère. Le ruissellement de l'eau accumulée creuse la base.



les gargouilles d'évacuation de l'eau de pluie accumulée sur la terrasse sont mal conçues : débord insuffisant, protection au départ et à la déverse inexistante ;



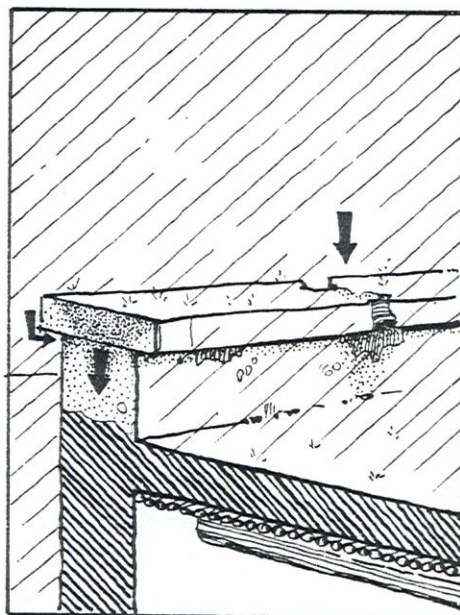
ruissellement contre le mur, érosion de surface et ravinement.

PRIP

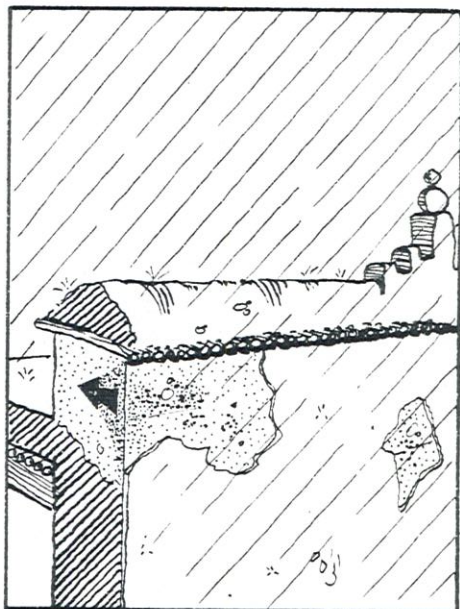
### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU HAUT DU MUR NON PROTÉGÉ

#### ACTION DE L'EAU : INFILTRATION

l'eau s'infiltré par les fissures d'une protection d'acrotère dégradée. L'action cumulée du ruissellement sous les débords trop petits du chapeau et de l'infiltration alimente la pathologie humide de l'ouvrage : absorption et diffusion capillaire.



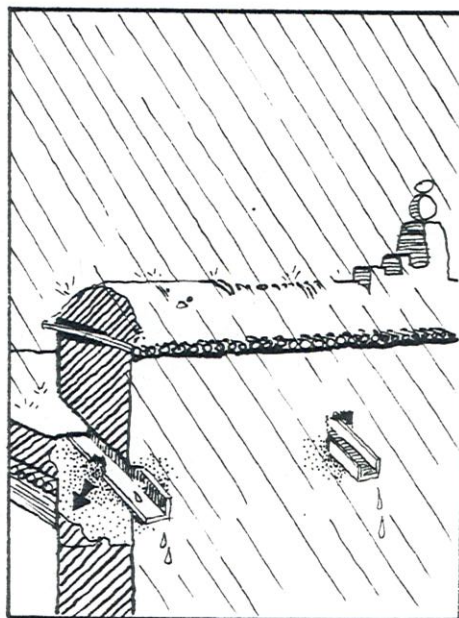
le décollement d'enduit en partie haute du mur, très exposée, favorise une dégradation à moyen terme de l'acrotère. L'eau qui s'infiltré entre l'enduit et le pisé, est absorbée puis diffusée par capillarité dans le mur : pathologie humide qui offre davantage de prise à l'érosion.



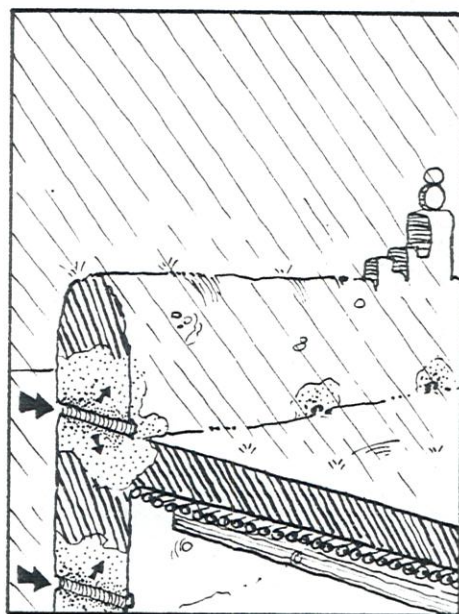
# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

les gargouilles sont dégradées et non protégées à leur déverse. Infiltration à la liaison des matériaux, pathologie humide cachée dans l'épaisseur de l'acrotère.



les trous de clés de banches non rebouchés permettent l'infiltration de l'eau. A la jonction des terrasses et de l'acrotère, cette situation est particulièrement néfaste : absorption et capillarité, creusement des orifices et affaiblissement de la résistance du matériau.



**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

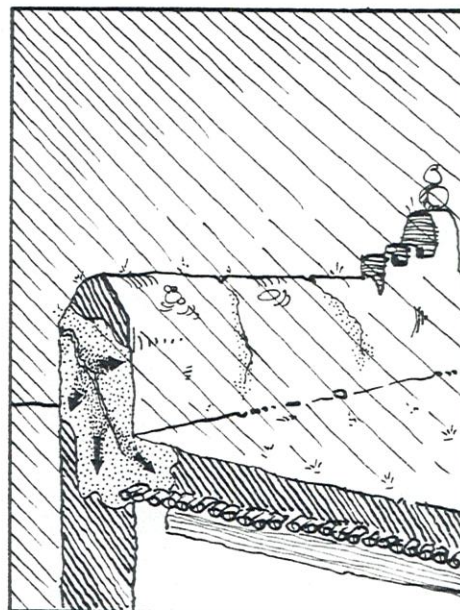
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

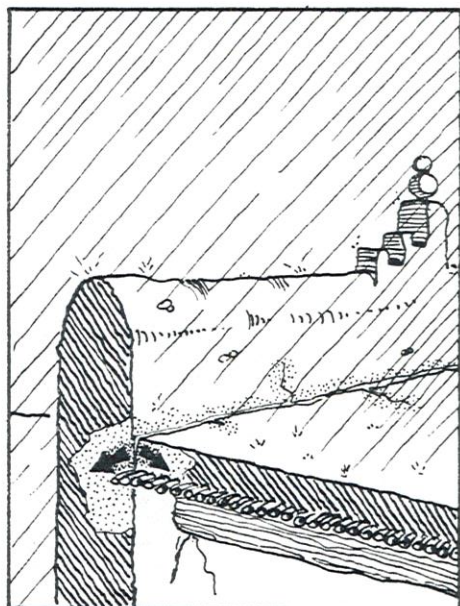
### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU HAUT DU MUR NON PROTÉGÉ

#### ACTION DE L'EAU : INFILTRATION

acrotère fissuré, infiltration et absorption de l'eau suivie d'une diffusion capillaire dans l'épaisseur de l'acrotère. Pathologie humide dissimulée risquant de détériorer l'ouvrage, notamment à la liaison des systèmes (terrasse/acrotère) et des matériaux (poutre/mur, roseau/terre damée).



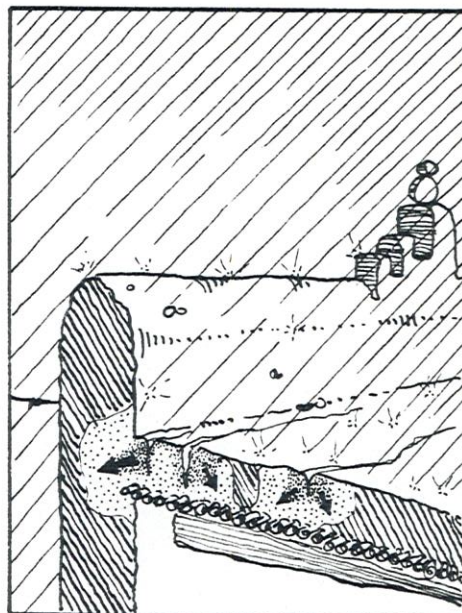
fissure structurale à la liaison de la terrasse et de l'acrotère : infiltration des eaux de pluie et de ruissellement mal drainées ; pathologie humide affaiblissant la structure.



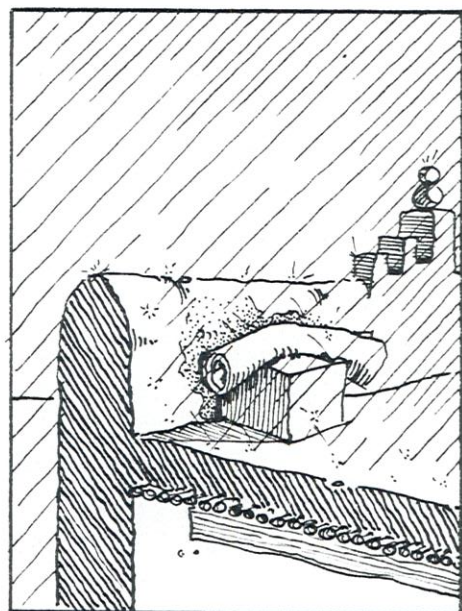
# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

terrasse fissurée en plusieurs points ;  
infiltrations multiples et forte pathologie  
humide résultant de l'eau absorbée.



infiltration de la pluie derrière un objet  
posé contre l'acrotère non protégé : une  
pathologie humide qui donne une voie  
libre à l'érosion.



**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

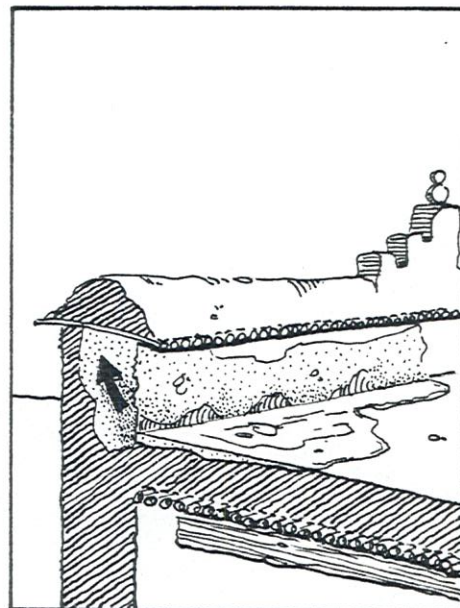
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

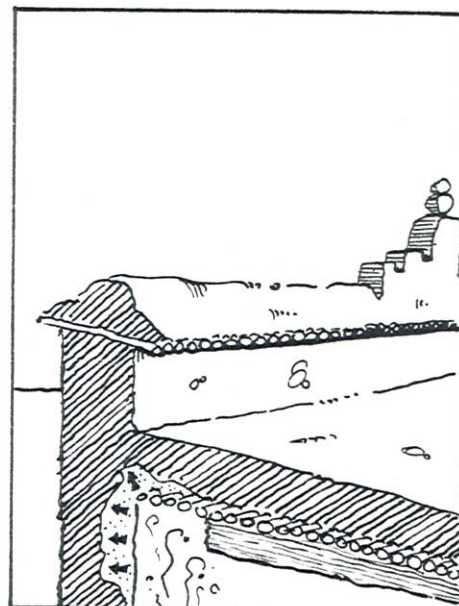
### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU HAUT DU MUR NON PROTÉGÉ

#### ACTIONS DE L'HUMIDITÉ

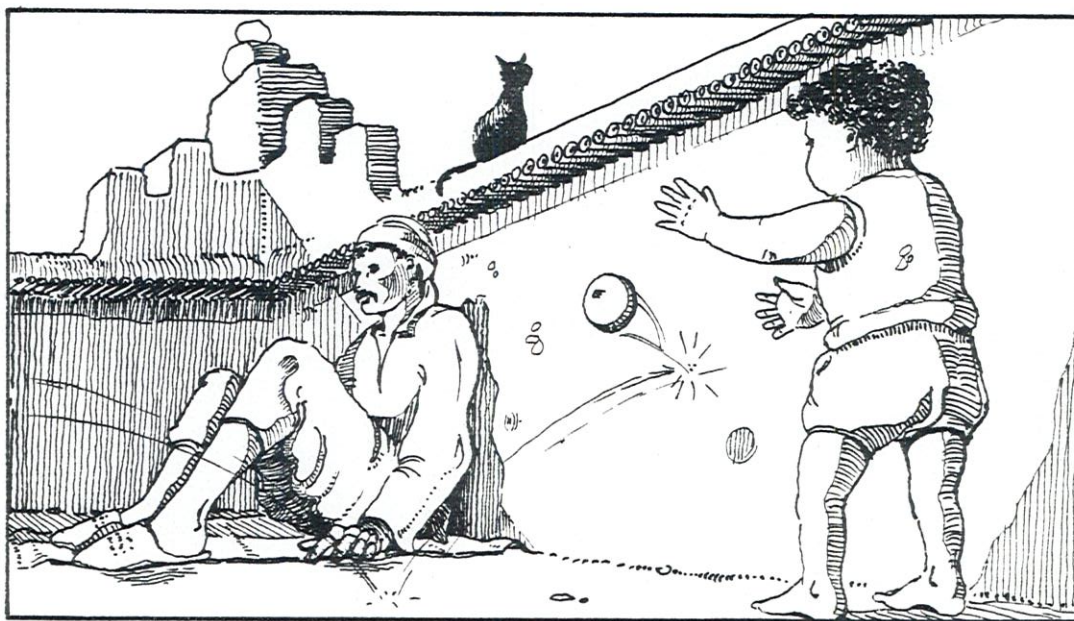
décollement d'enduit sous le "chapeau" et absence de drainage de la terrasse; l'eau stagne au pied de l'acrotère, remontées capillaires dans la masse de l'ouvrage: creusement à la jonction terrasse/acrotère, affaiblissement de résistance du matériau.



sous la terrasse, une pièce d'eau n'a pas été traitée contre la forte humidité ambiante : condensation en parement froid (été) entre l'enduit et le mur, pathologie humide cachée et malsaine. Risque de dégradation progressif et d'effondrement de la terrasse.



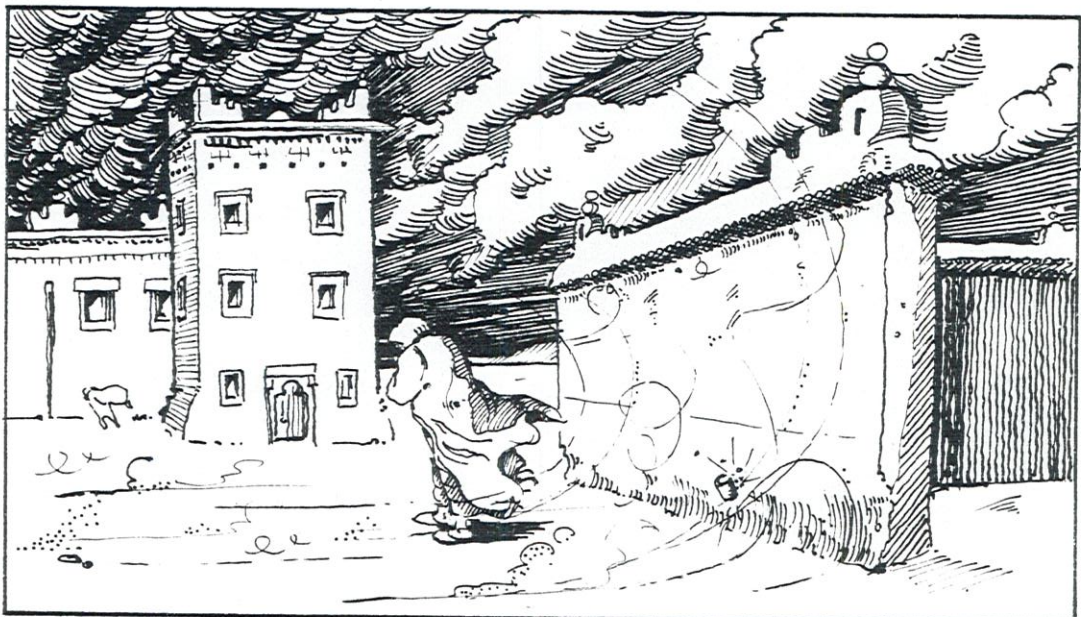
### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU HAUT DU MUR NON PROTÉGÉ ACTIVITÉS HUMAINES ET ACTIONS DES ETRES VIVANTS



sur les terrasses accessibles, les activités multiples des occupants, celles des animaux domestiques, peuvent endommager les parties les plus directement exposées ou mal protégées. Des chocs imprimés à l'acrotère (transport d'objets, jeux d'enfants), les frottements répétés contre le mur peuvent entamer le matériau et préparer une dégradation ultérieure de l'ouvrage. Points sensibles : base de l'acrotère, chapeau de protection.

### PATHOLOGIE CLASSIQUE DU HAUT ET DU BAS DU MUR NON PROTÉGÉS

#### ACTION DU VENT



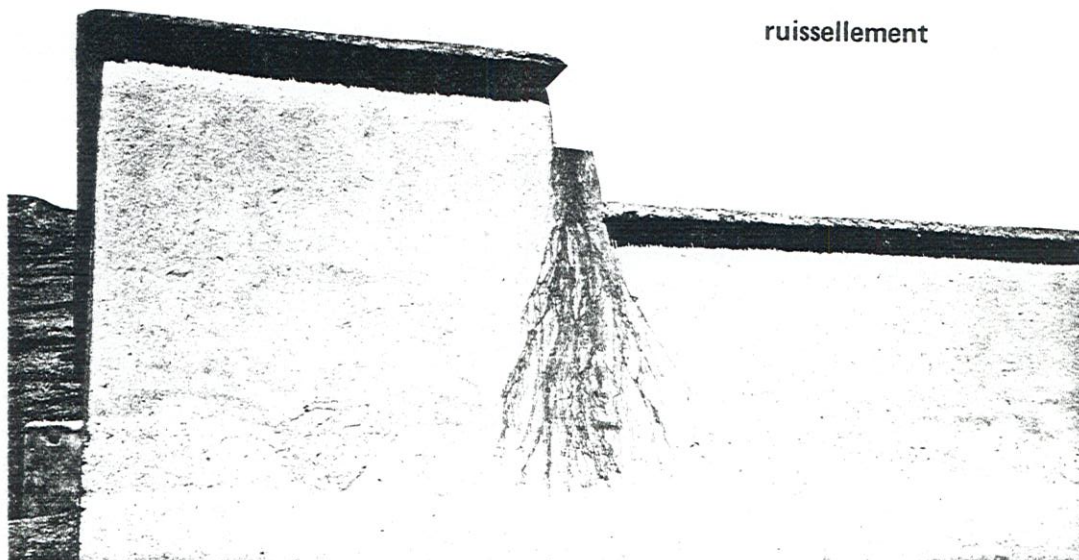
l'action éolienne contribue à une érosion superficielle des murs de terre ; celle-ci touche particulièrement quelques points faibles comme les angles des murs et la liaison entre différents matériaux. L'érosion est réduite pour un matériau de bonne qualité (pisé bien damé, bloc dense, p.e.). Par contre, sur un terrain de pathologie humide (remontées capillaires à la base du mur, p.e.), l'érosion éolienne est particulièrement active et peut entamer le matériau qui a perdu sa résistance structurelle du fait de l'humidité. Les chocs d'objets transportés par le vent, accidentels et localisés peuvent causer un arrachement de matériau.



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

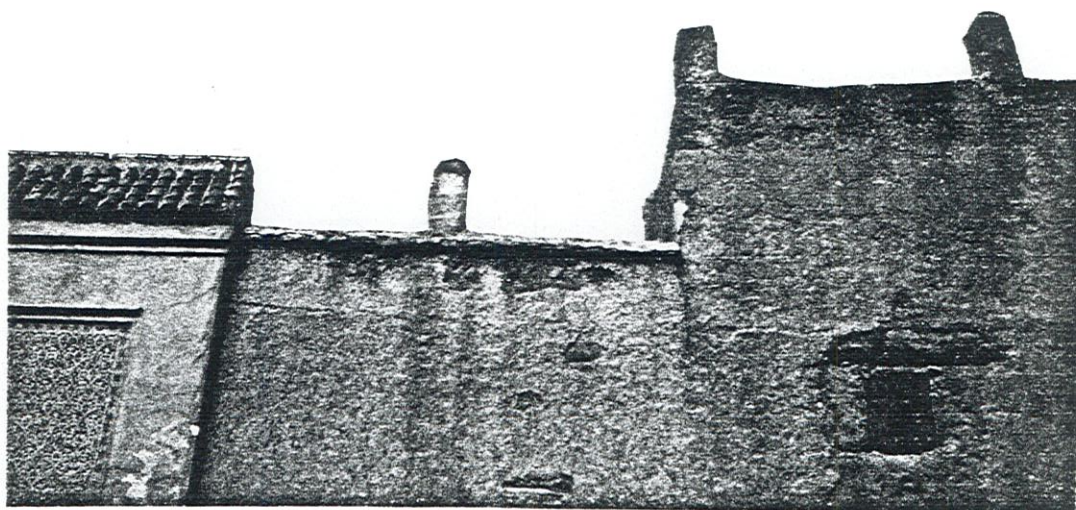
### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

#### PATHOLOGIE DU HAUT DU MUR



ruissellement

Absence de "chapeau" sur une partie du mur. L'eau ruisselle le long du mur ; l'action répétée de ce ruissellement risque d'altérer le mur, quand bien même est-il protégé par un enduit.



La protection par simple corniche de pierre à faible débord est insuffisante. Sous la corniche, l'action cumulée des pluies battantes (impact), du ruissellement (absence de goutte) et des turbulences dues au vent entraîne une érosion de surface.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

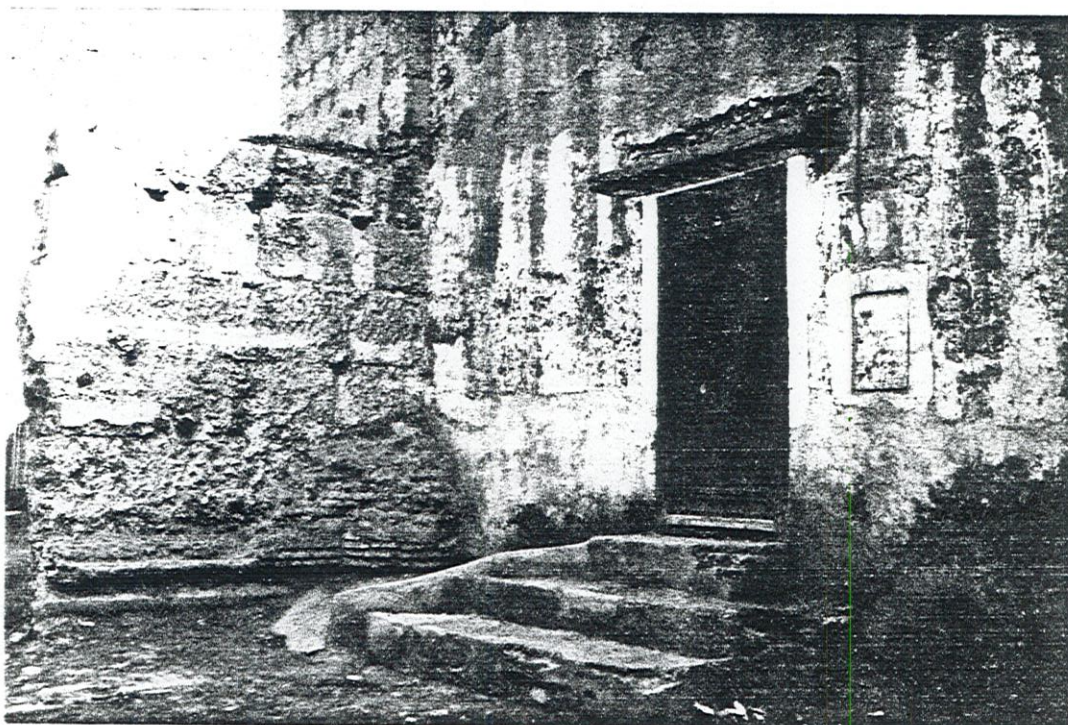
**PATHOLOGIE DU HAUT DU MUR**



La dégradation avancée de la protection haute du mur, mal entretenue, entraîne une dégradation du mur : creusement, effondrement de parties.

### PATHOLOGIE DE QUELQUES ÉLÉMENTS LOCALISÉS

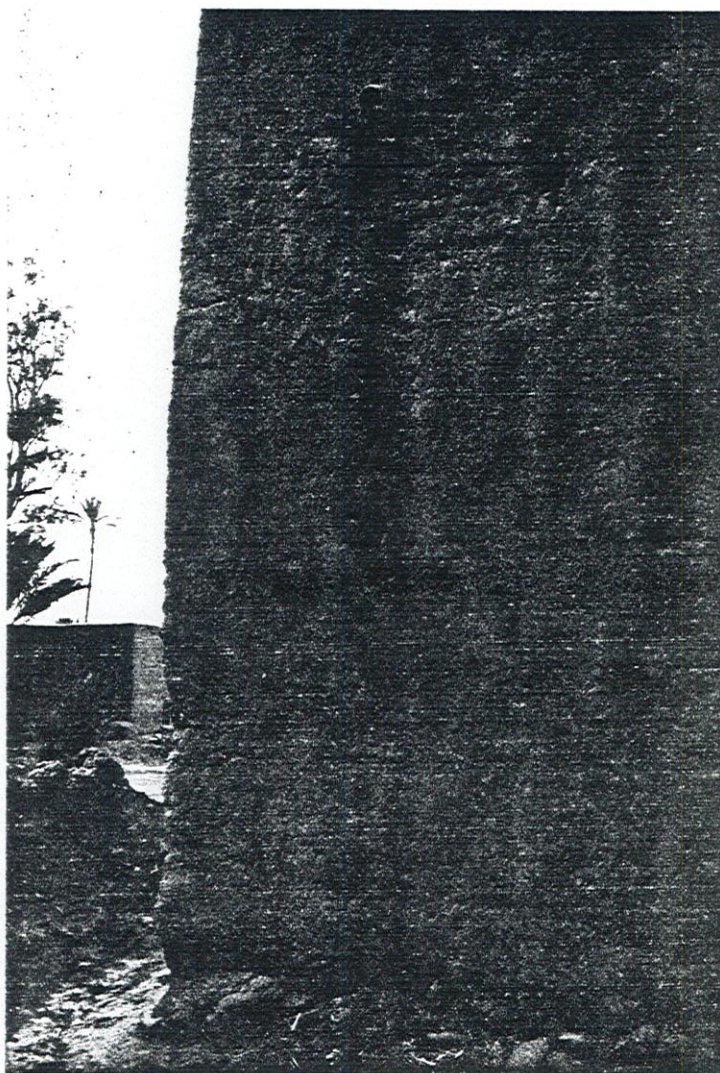
rejaillissement



Une saillie en béton destinée à protéger une porte cause la dégradation du mur. Pas de pente, pas de solin, rebond de l'eau sur l'avent en béton ; dégradation de l'enduit et creusement progressif du pisé.

**PATHOLOGIE DE QUELQUES ÉLEMENTS LOCALISÉS**

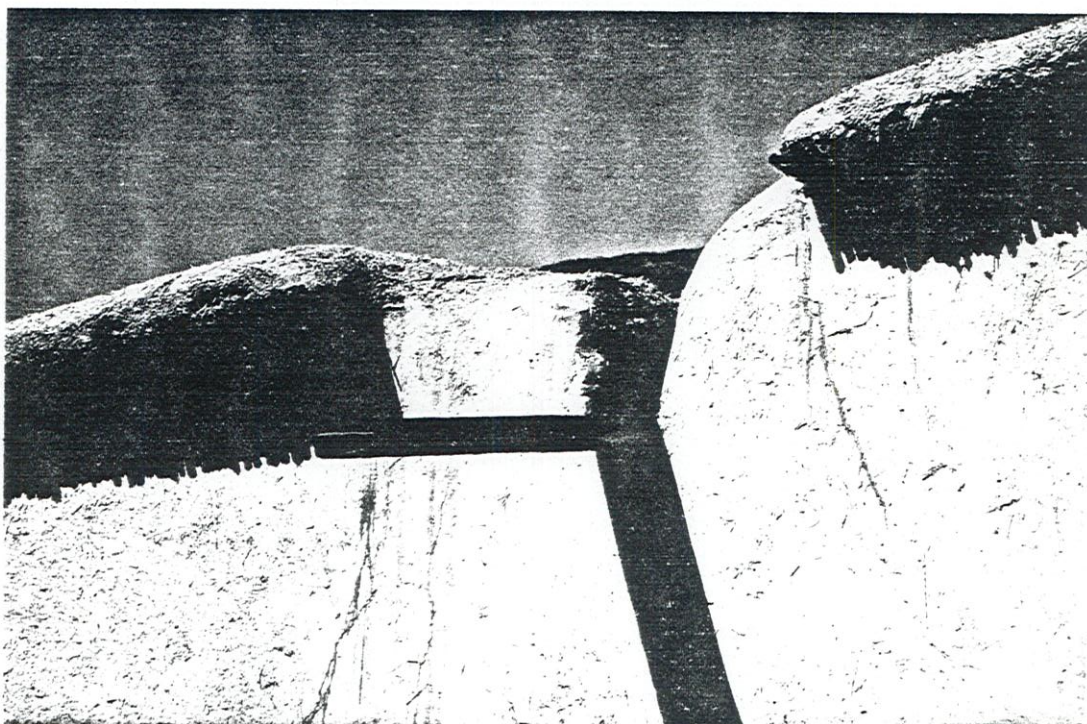
**gargouilles**



rejet d'eau de gargouille avec débord du mur insuffisant ; ruissellement, absorption, pathologie humide : ravinement du matériau, fissuration de retrait et infiltrations ajoutés au rejaillissement de l'eau à la base du mur.

**PATHOLOGIE DE QUELQUES ÉLEMENTS LOCALISÉS**

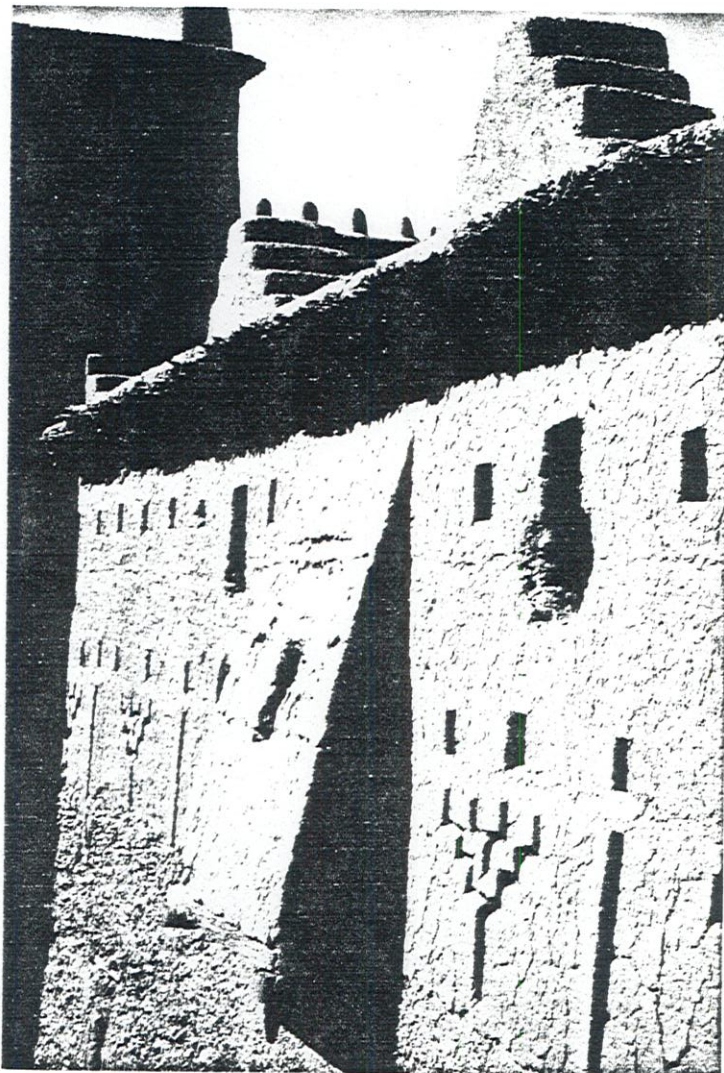
**gargouilles**



gargouille suffisamment débordante mais absence de protection au départ de la gargouille et du haut du mur ; risque de dégradation à moyen terme.

**PATHOLOGIE DE QUELQUES ÉLEMENTS LOCALISÉS**

éléments saillants



Sur cet élément saillant à parement incliné insuffisamment protégé, le ruissellement des eaux de pluie est plus important que sur les parements verticaux : ravinement, ablation du matériau en surface, creusement des éléments rentrant du décor de façade.

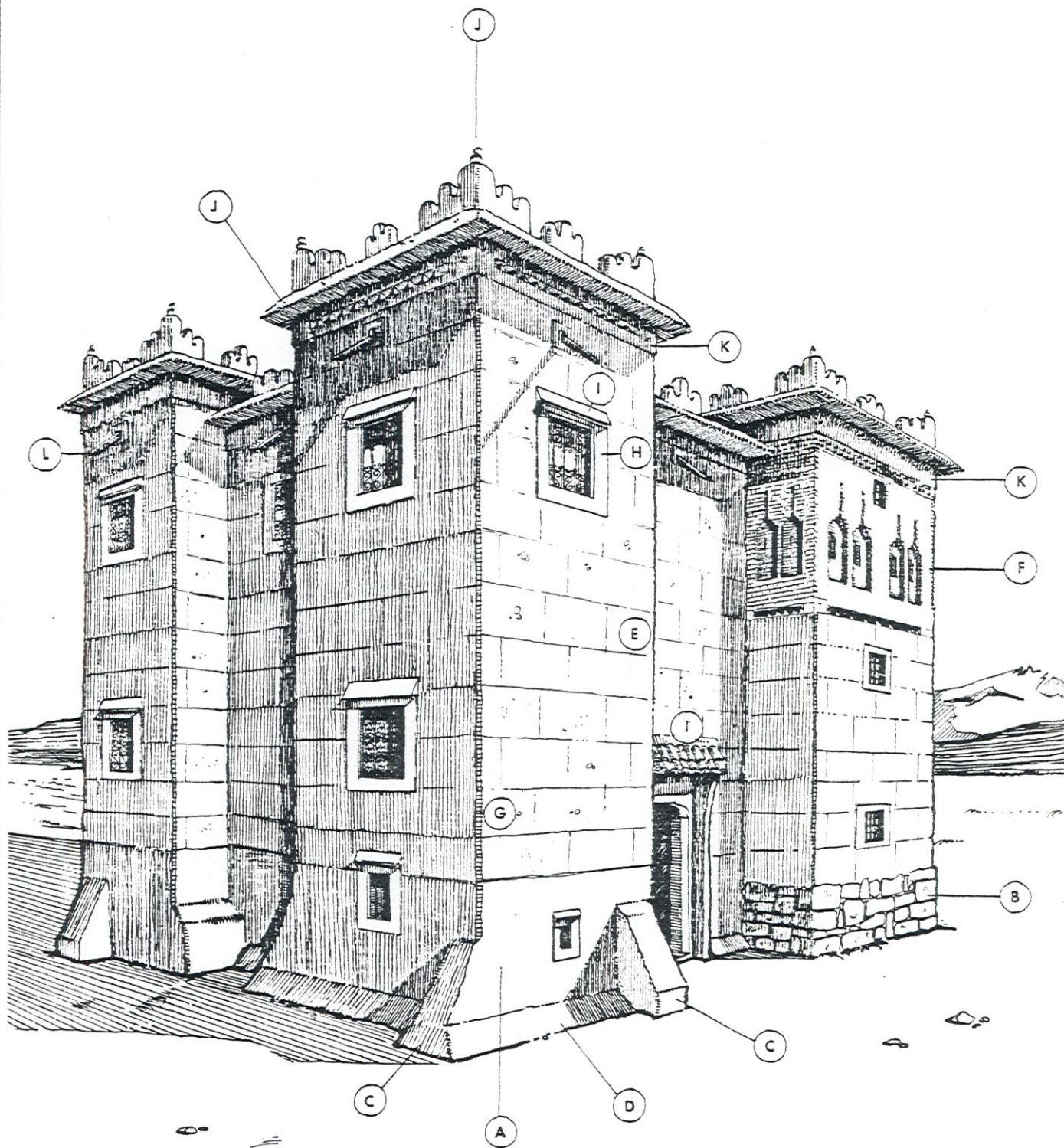
### 3.3 . PROTECTION DES POINTS FAIBLES : PRINCIPES DE SOLUTIONS ARCHITECTURALES

- 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

SCHEMA THEORIQUE D'UNE BONNE CONCEPTION ARCHITECTURALE.



### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : CRATerre © 1983

COLLABORATION : GAITerre



# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### 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 modération
- L • Gargouille dépassante, protection du mur à la sortie de la gargouille

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

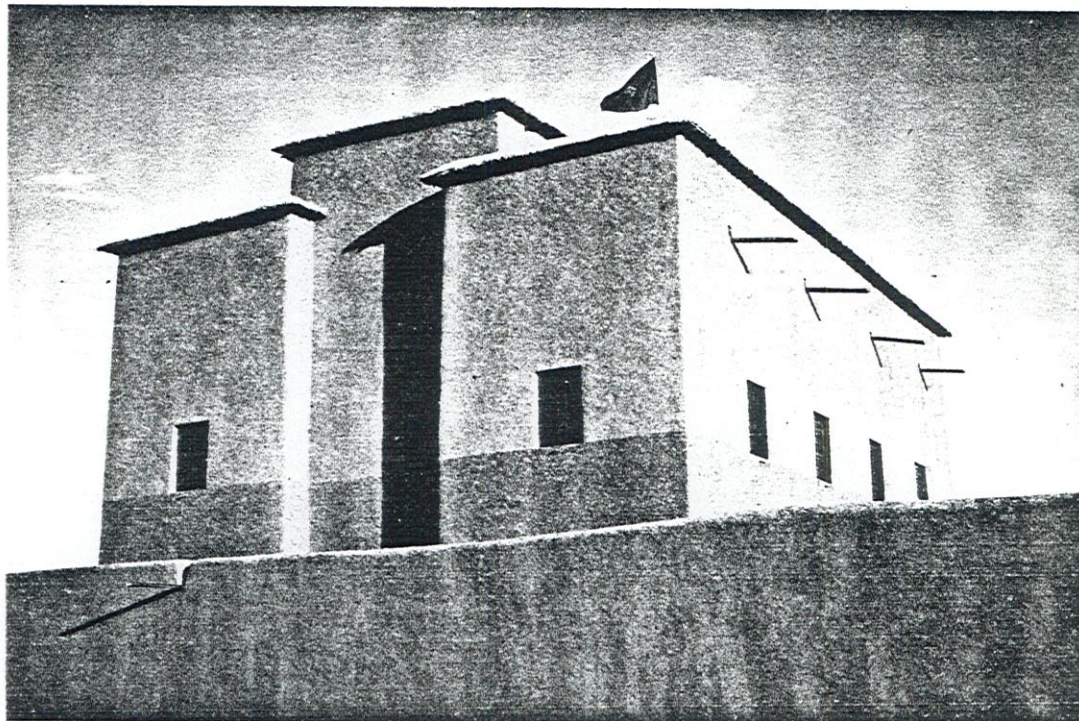
COLLABORATION : **GAITerre**

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

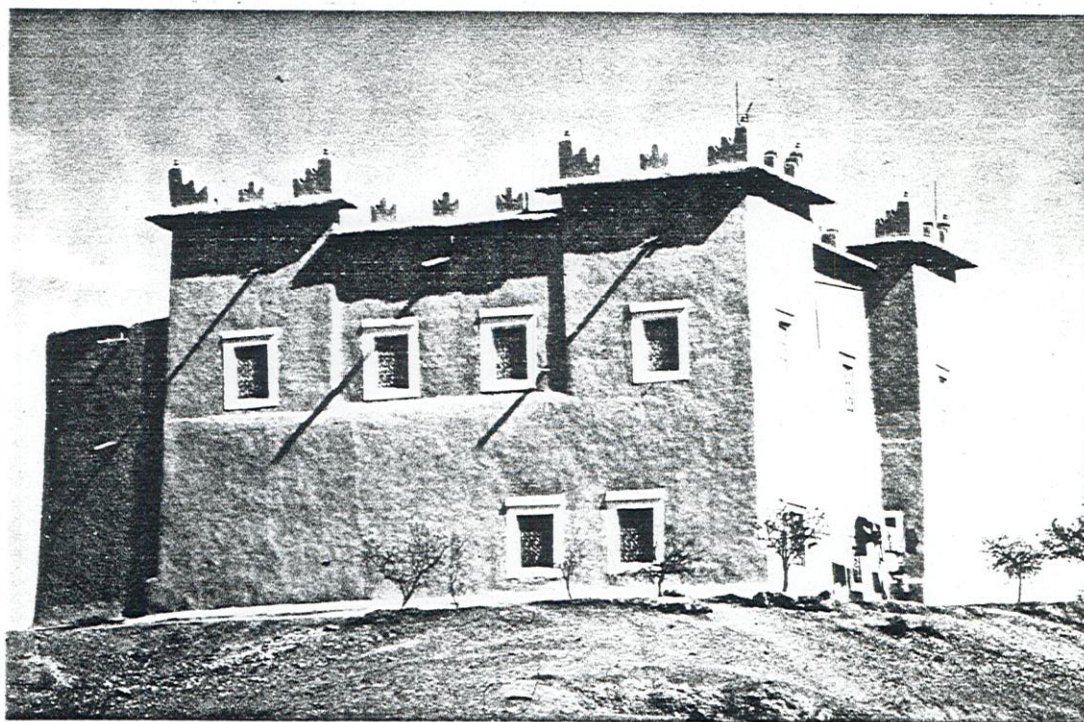
## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### ARCHITECTURES EN TERRE RÉCENTES, AU MAROC

Bien concevoir et bien bâtir



Ces bâtiments en pisé contemporains, dans la vallée du Dadès, sont bien conçus et défieront l'usure du temps.



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

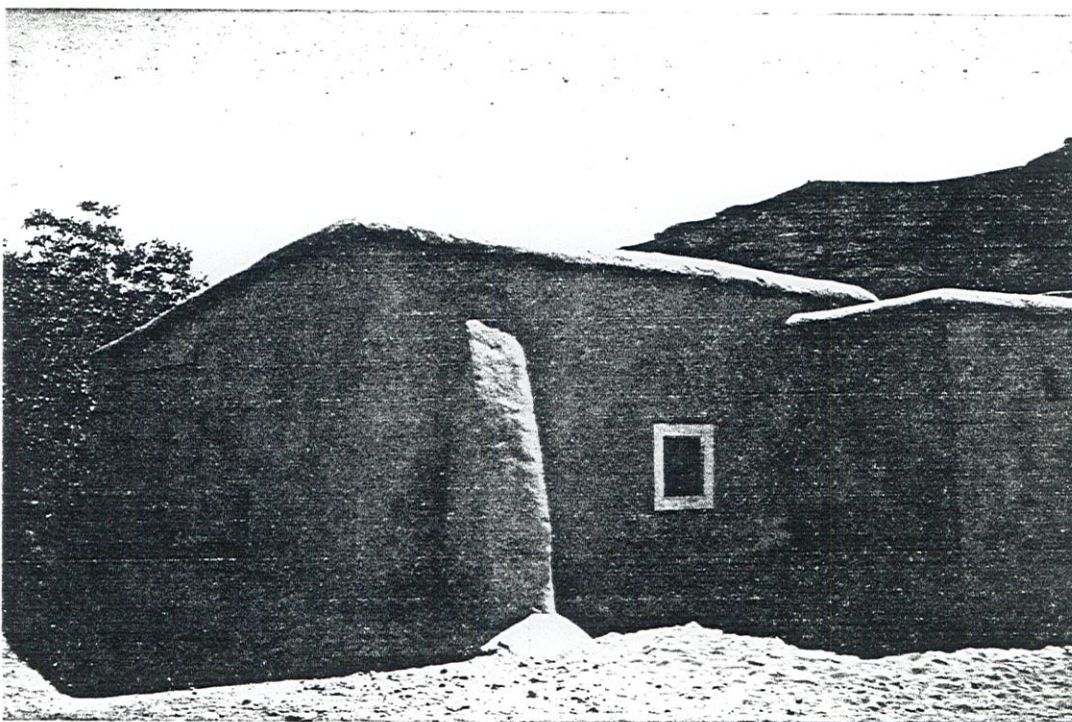
REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

#### PROTECTION BASSE DU MUR



Ce soubassement incliné favorise le rejet des eaux de ruissellement et de rejaillissement à l'écart de la base du mur. Cette solution peut être améliorée par l'ajout d'un relevée de protection entre le soubassement et le mur.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

#### PROTECTION BASSE DU MUR



Renfort des angles extérieurs saillants par un soubassement et une chaîne d'angle en pierre.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : **CRATerre** © 1983

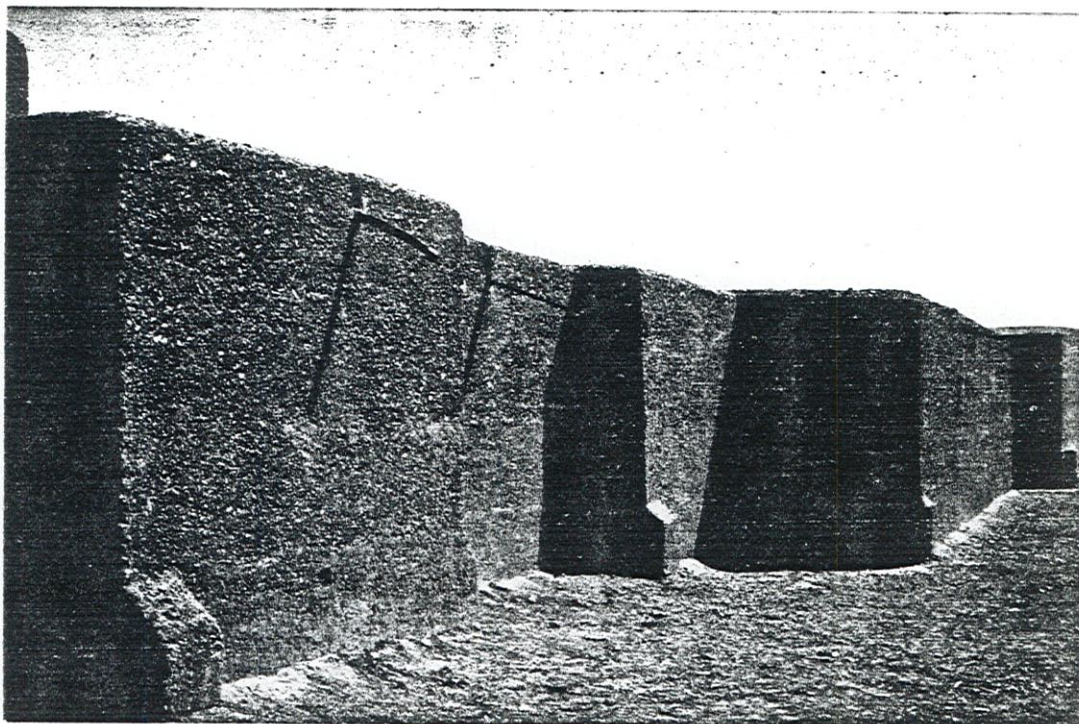
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : **GAITerre**

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

#### PROTECTION BASSE DU MUR



Renfort des angles saillants par une "poussée" de la 1ère banchée.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** • 1983

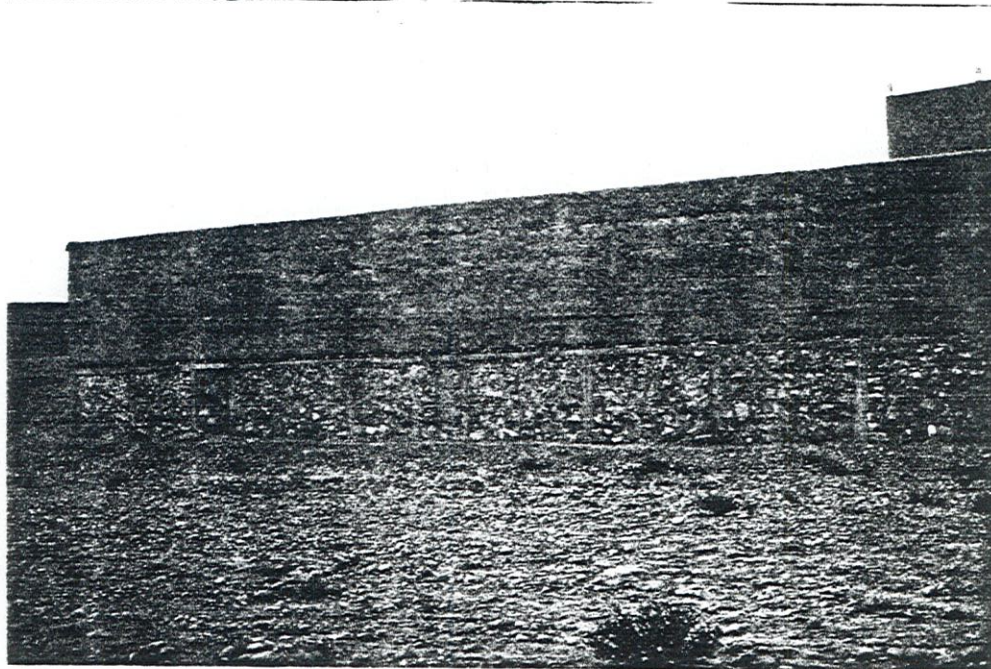
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : **GAITerre**

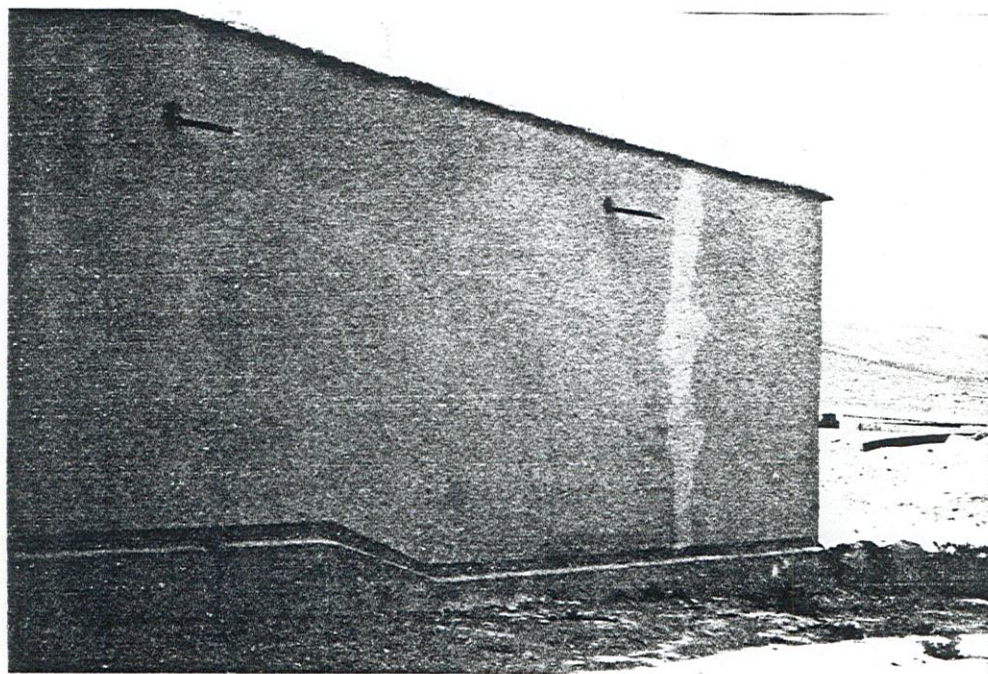
## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

#### PROTECTION BASSE DU MUR



Soubassement élevé en pierres, chaîné en béton (Vallée du Dadès)



Soubassement enduit avec rigole de drainage e.p.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

#### PROTECTION DE QUELQUES ELEMENTS LOCALISÉS

#### TABLEAUX D'OUVERTURES

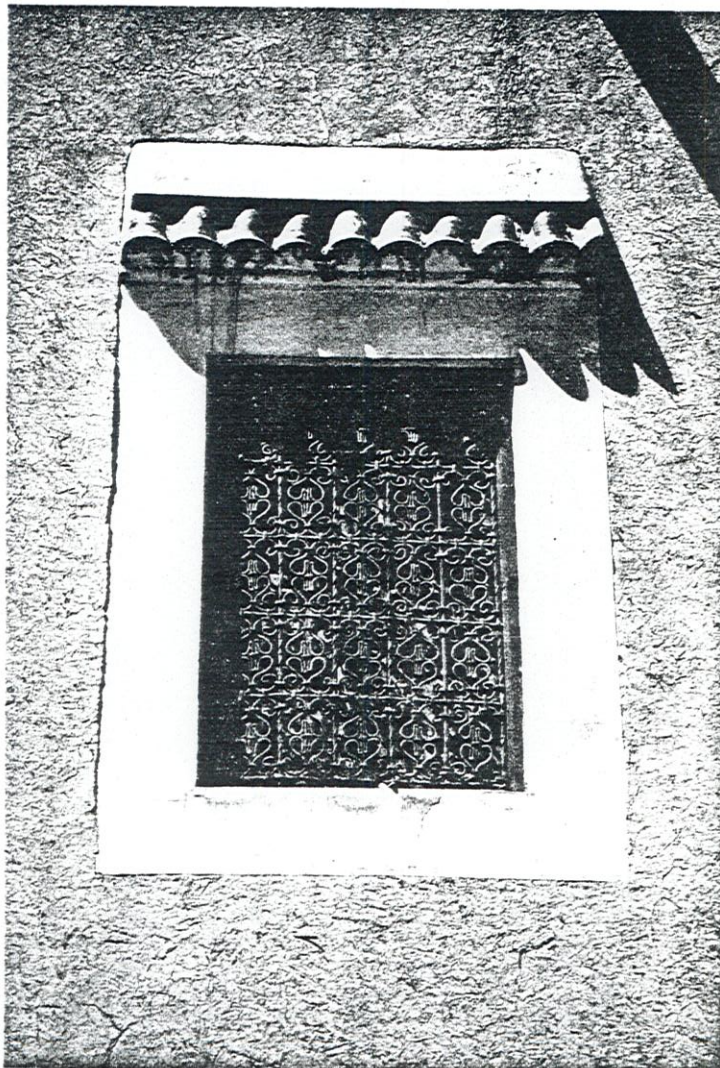


Tableau de fenêtre enduit et non saillant, solin au mortier de chaux avec tuiles vertes vernissées. Les tuiles uniquement bâties en "couvert" ne permettent pas un rejet suffisant de l'eau qui ruisselle sur le haut du tableau. La pose des tuiles en canal et en couvert aurait permis ce rejet de l'eau.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

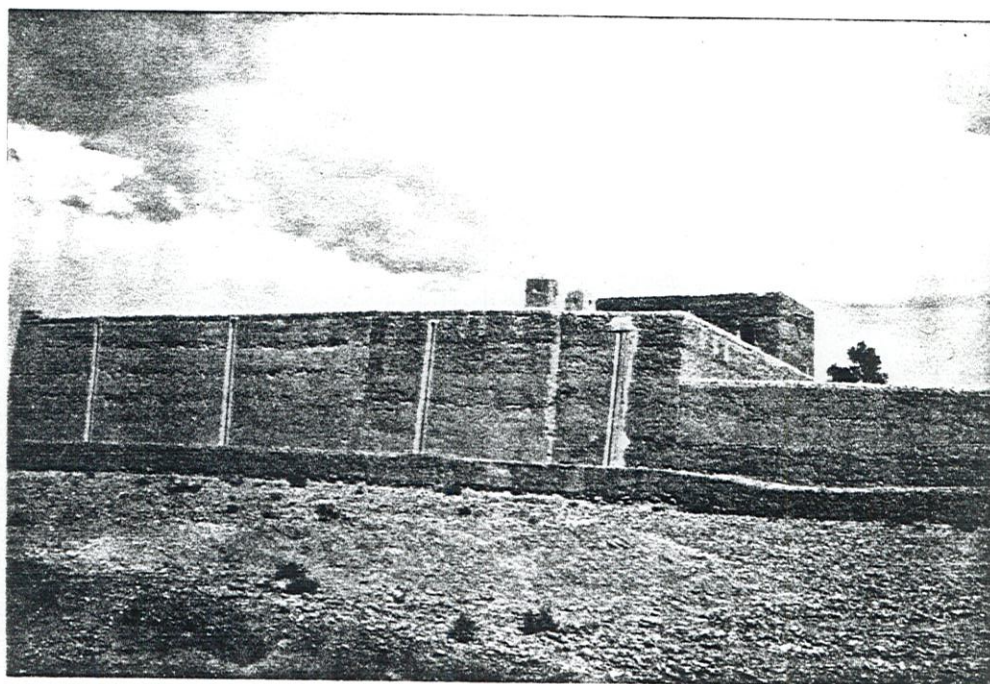
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : **GAITerre**

**PROTECTION DE QUELQUES ÉLÉMENTS LOCALISÉS**

**GARGOUILLES**



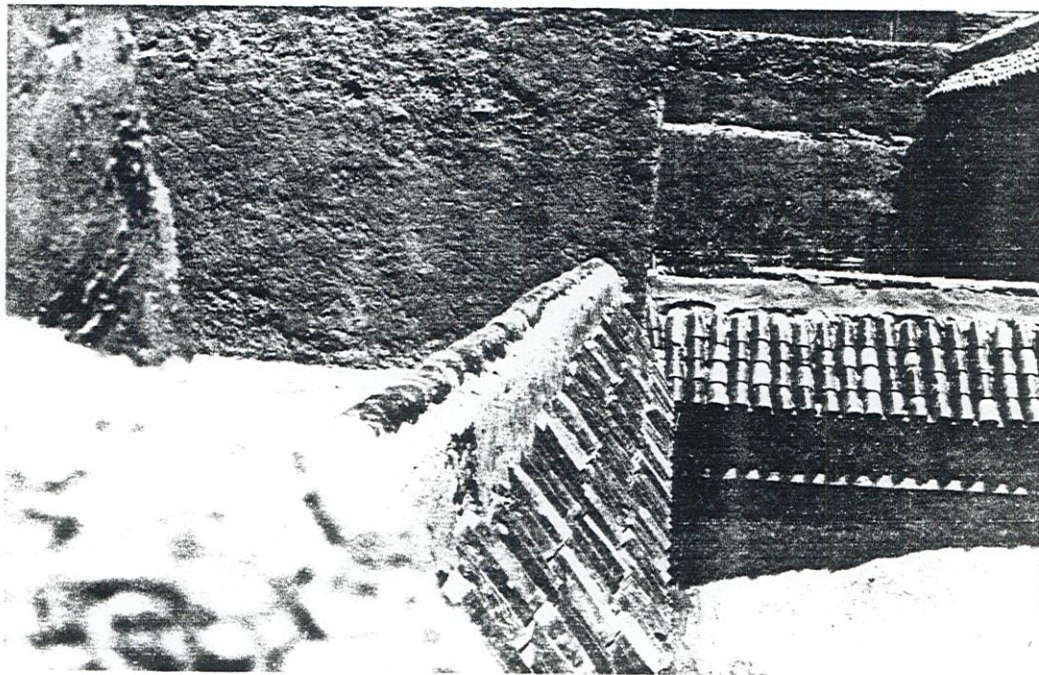
Gargouilles et descentes e.p. incluses dans l'épaisseur du parement mural. Enduit à la chaux. Solution à traiter avec le plus grand soin car les risques d'infiltration demeurent importants.



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

### DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

#### PROTECTION HAUTE DU MUR



Acrotère enduit avec tuiles vertes vernissées en faitage et en auvent débordant  
(région de Tamegrout)

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION :

© 1983

**GAITerre**

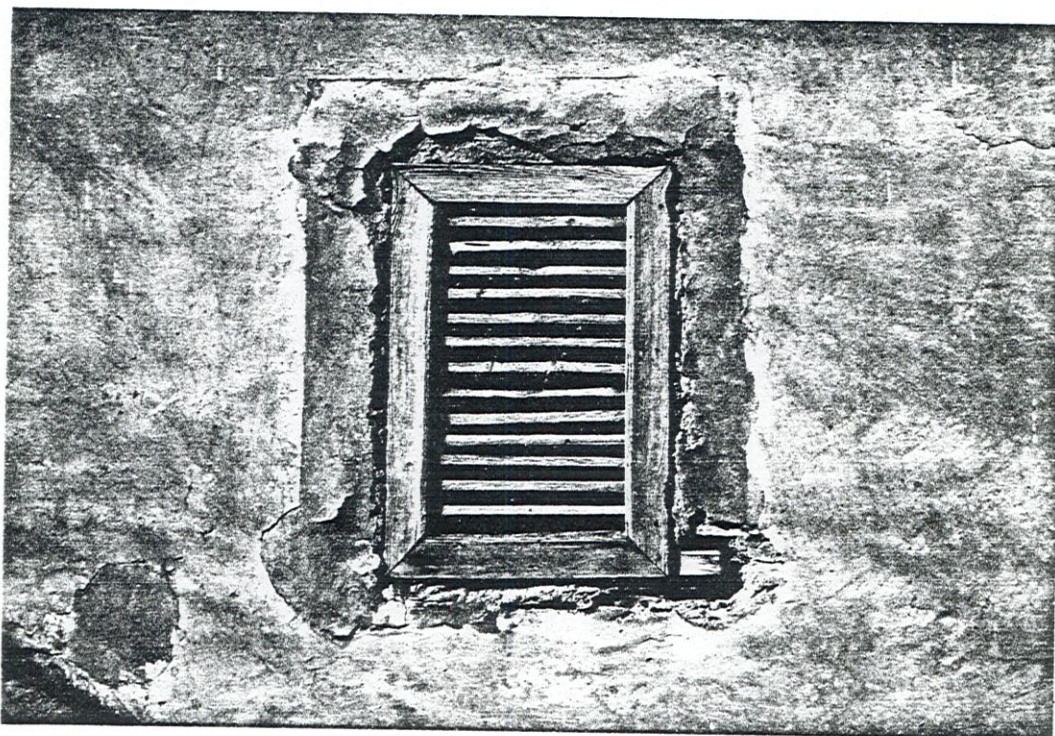
**PROTECTION DU HAUT DU MUR**



Débord de toiture en roseaux recouverts de terre, bande d'enduit haute et enduit du chapeau en terre ajouté de paille.

### PATHOLOGIE DE QUELQUES ÉLÉMENTS LOCALISÉS

tableaux d'ouvertures



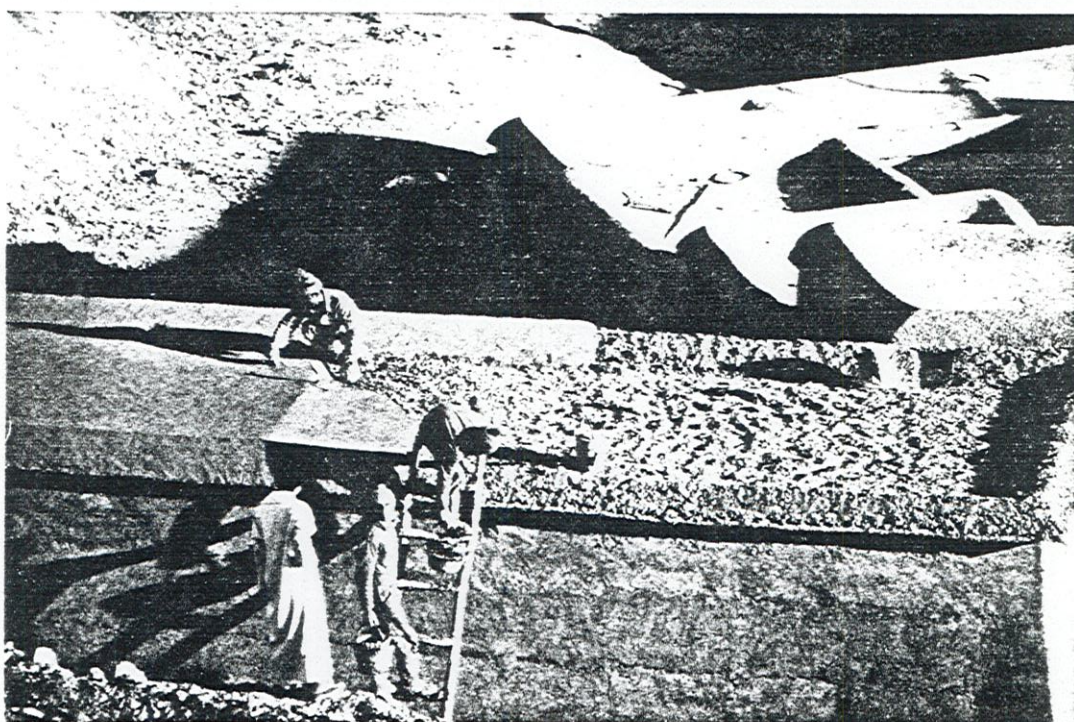
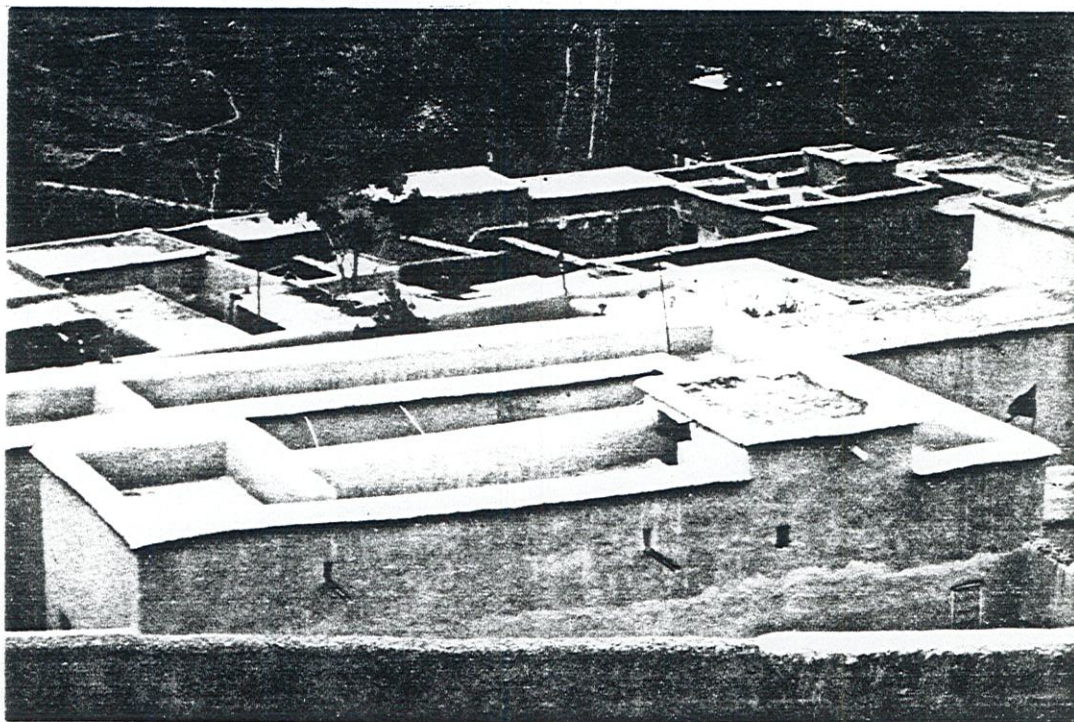
Le tableau enduit de cette petite fenêtre est très dégradé et laisse apparaître la liaison fragile du cadre en bois et du pisé. L'eau s'infiltré au linteau, aux jambages et à l'appui, creusant peu à peu le matériau.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### TOITURES

#### PROTECTION DES TOITURES



Chapeaux d'acrotère débordant et enduits au Tadellakt, étanchéité des terrasses réalisée selon la technique marocaine du "dess".

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : **GAITerre**

### Solutions de protection de surface locales

Le **TADELLAKT** (enquête GAIterre)

#### ● Introduction

Le Tadellakt est un enduit mural à la chaux, traditionnellement employé comme revêtement intérieur des hammams, grâce à ses qualités de robustesse et d'étanchéité.

Sa résistance au temps et à la chaleur en a fait également un matériau adapté aux enduits extérieurs et de nombreux bâtiments anciens peuvent témoigner de nos jours de la durabilité et de la fiabilité de ce type d'enduit.

Aujourd'hui, on constate une réactualisation du Tadellakt dans la construction de maisons modernes, à la fois comme enduit intérieur ou extérieur, mais également comme matière adaptée pour la décoration des cheminées ou d'éléments architectoniques ; son utilisation avec les produits d'artisanat traditionnels (bois sculpté, zelliges, etc...) contribue à sa mise en valeur.

#### ● Description du matériau

Le Tadellakt peut présenter différents aspects de finition, suivant la qualité du support sur lequel il est appliqué, et le degré de polissage qui a été effectué. Il peut présenter un aspect rustique légèrement lissé ou approcher l'aspect du marbre ; les microfissures dues au "retrait" du matériau forment de minuscules craquelures de surface qui, dans leur perfection, donnent l'aspect marbré qui fait la richesse du Tadellakt.

A l'état naturel il est de couleur blanc-cassé, gris, mais peut être teinté avec les mêmes produits qui servent à colorer les terres cuites ou zelliges ; ainsi il existe une gamme de couleurs assez variée bien que celles qui sont le plus couramment employées restent de teinte très pastel : jaune pâle, rose pâle, bleu ou vert pâles.

Son toucher est très froid, dû à la chaux qui le compose, ce qui renforce sa comparaison d'aspect avec le marbre.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

- **Mise en œuvre**

Le Tadellakt est exclusivement composé d'un mélange de chaux pure et d'eau. Il est possible de décomposer sa mise en œuvre en quatre phases :

- la préparation de la chaux
- le malaxage
- l'application sur la paroi
- le polissage

Les deux premières phases se font sur deux aires de préparation extérieures, les deux dernières sur le mur à traiter (en parement intérieur ou extérieur).

- **Préparation de la chaux**

La chaux provient de mottes de chaux vive cuites dans des fours traditionnels chez les artisans puis acheminée sur le chantier pour y être préparée.

La préparation consiste à "éteindre" la chaux vive avec de l'eau. Plusieurs arrosages consécutifs permettent de réduire la chaux à l'état de petits granulats. Le résidu ainsi obtenu est criblé avec un premier tamis de maille 1 cm ; pour le nettoyer et éliminer les déchets (bouts de pierre, ou de cendres résultant de la cuisson), puis avec un second tamis de maille 2,5 mm pour obtenir une fine poudre blanche sans impuretés.

Les ouvriers travaillent en général la quantité dont ils ont besoin et ne préparent pas de matériau d'avance.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION :

© 1983

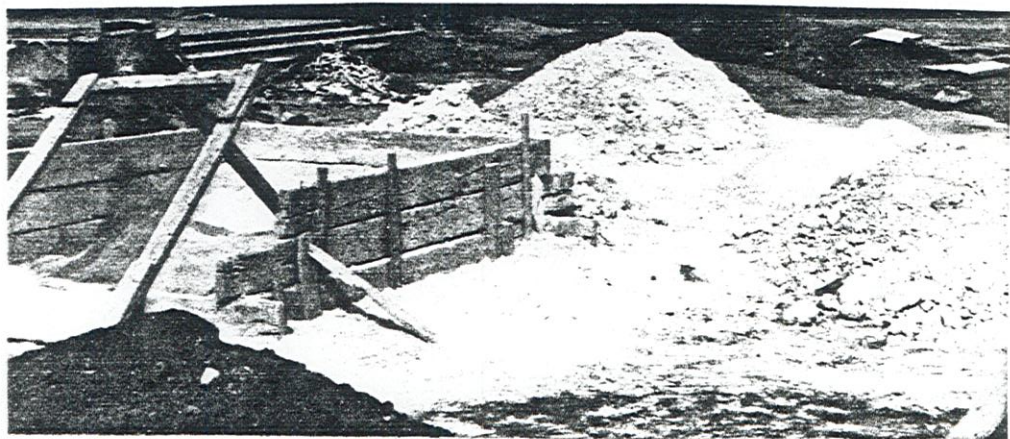
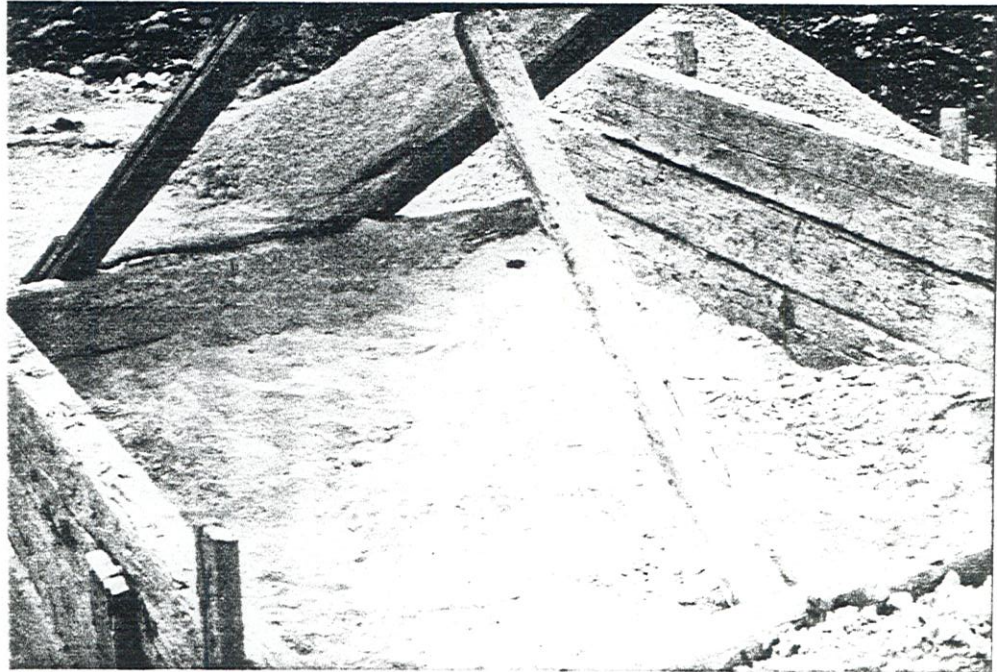
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### TADELLAKT



Criblage de la chaux

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

- **Le malaxage**

L'opération de malaxage se fait sur une aire éloignée de celle de criblage pour éviter les poussières, sur un sol compacté. Si l'on prévoit l'emploi d'un tadelakt à l'état pur, le mélange de poudre de chaux et d'eau se fait tout de suite.

S'il doit être teinté, le Maâlem effectue des essais de dosage de la poudre de couleur et présente des échantillons au client.

Ensuite commence le malaxage : la chaux est mélangée à l'eau et au colorant en poudre, à l'aide d'une pelle, comme pour la préparation d'un mortier, dans des proportions que le Maâlem estime jusqu'à ce qu'il obtienne au toucher, un mélange gras, pas trop liquide. Il est difficile de connaître les proportions du mélange d'eau et de chaux. La quantité de chaux malaxée ne dépasse jamais deux brouettes, la chaux prenant trop vite. Pour cette quantité, le Maâlem estime approximativement à 40 litres le volume d'eau nécessaire.

L'enduit ainsi prêt est laissé au repos 24 heures avant d'être utilisé sur le mur : pour l'utilisation directe, il sera malaxé à nouveau avec environ 5 litres d'eau.

La quantité d'enduit, peut-être maintenue en attente d'utilisation pendant une semaine maximum, à condition de la travailler tous les jours avec de l'eau. Passé ce délai de 7 jours, elle n'est plus utilisable.



Malaxage et ajout de la teinte (colorant en poudre)



# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

- **Application sur la paroi**

Le Tadellakt peut se faire sur tout type de mur, à condition que le support (pierre, terre, béton, parpaing...) soit d'une bonne mise en œuvre.

Il est nécessaire de préparer un dégrossissage de la paroi à l'aide d'un enduit bâtard à la chaux pour faciliter l'accrochage. Ce travail de préparation est en principe fait par le maçon qui a construit le mur, et n'incombe pas au Maâlem qui fait le Tadellakt, mais bien souvent, pour des raisons de planning et de gestion du chantier, c'est lui qui doit le faire. Dans ce cas, le prix de revient du Tadellakt est majoré du temps de préparation du mur.

Après avoir légèrement mouillé la paroi, le Maâlem applique l'enduit à l'aide d'une taloche de plâtrier et d'une truelle en une fine couche de 5 mm. Il le lisse grossièrement avec une petite raclette très souple en bois de cèdre, et laisse ensuite sécher la surface enduite pendant environ 1/2 heure, pour qu'elle durcisse légèrement et permette de commencer le polissage.

- **Polissage**

Le polissage est l'action la plus importante dans la réalisation d'un Tadellakt, pour obtenir une mise en œuvre parfaite ; il se fait en deux étapes :

Tout d'abord un polissage en douceur du matériau qui commence à être sec, avec un galet, sans appuyer sur la paroi, dans un mouvement de va-et-vient.

Après ce premier lissage, le Maâlem laisse reposer la surface pendant 1 à 2 heures. En général la préparation de la chaux, son application et le premier stade de polissage s'effectuent le matin ; l'après-midi, commence le travail de finition.

La deuxième phase de polissage plus fort est très longue. Elle doit se faire avec soin, sans trop appuyer sur la paroi avec une pierre (galet de l'oued) qui s'use sur le Tadellakt et à l'aide de savon noir, dilué dans de l'eau, qui joue le rôle de lubrifiant, ou de graisse pour éviter que le Tadellakt ne se décolle en petites aspérités au contact du galet. Le Maâlem savonne la paroi chaque fois qu'elle devient trop sèche pour être travaillée.

Traditionnellement, on utilisait des jaunes d'œuf à la place du savon noir pour jouer ce rôle de lubrifiant. Un mélange de jaunes d'œuf était préparé et étalé sur le Tadellakt pour permettre à la pierre de mieux glisser. Les jaunes d'œuf avaient également un avantage dans la tenue du Tadellakt, car ils créaient une sorte d'armature supplémentaire pénétrant l'enduit et améliorant ainsi son étanchéité.

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### TADELLAKT



Application du Tadelakt sur le mur



Lissage au Fortas et polissage

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

Aujourd'hui on préfère utiliser le savon noir pour deux raisons :

- la trop grande quantité d'œufs nécessaires et leur coût.
- la difficulté de mise en œuvre à cause de la chaleur, ou du soleil, qui ont tendance à durcir et à "cuire" les jaunes d'œuf, alors qu'au contraire, ils "ramollissent" le savon.

Le polissage s'arrête quand la surface obtenue a atteint le degré de finition souhaité. Plus l'on développe une activité intense au polissage, plus le mur sera poli, lisse, d'aspect marbré, sans craquelures. Apparaîtront seulement avec le temps et le durcissement quelques microfissures qui donneront l'aspect veiné au matériau.

- **Rendements et coûts**
- **Le matériau**

Il est difficile de donner des quantités chiffrées, les Maâlems travaillent beaucoup par habitude.

D'après les données recueillies on peut estimer à 1 m<sup>3</sup> et demi à 2 m<sup>3</sup>, la quantité de chaux vive nécessaire pour effectuer une surface en Tadellakt de 60 m<sup>2</sup> environ (pièce de 4 m x 4 m x 3 m). Soit 0,08 m<sup>3</sup> par m<sup>2</sup> à 0,034 m<sup>3</sup> par m<sup>2</sup>.

Il faut considérer environ 2/3 de perte pendant la préparation du Tadellakt (transformation de la chaux, étalage sur le mur). Traditionnellement, cette perte était compensée par la récupération des déchets qui constituaient la sous-couche du sol de la pièce entrant ainsi dans la composition du Dess, revêtement de sol similaire au Tadellakt mais damé.

- **Les hommes**

La réalisation du Tadellakt nécessite beaucoup de main-d'œuvre car ce matériau ne permet aucun raccord ; l'application d'un enduit sur la totalité d'un mur doit se faire en une seule fois. Généralement plusieurs équipes travaillent donc simultanément sur la même surface quand celle-ci est importante. Une équipe est constituée d'un Maâlem qui prépare la chaux, enduit et polit, et de un ou deux manœuvres.

Pour une excellente finition, une équipe de trois personnes réalise, 0,5 m<sup>2</sup> à 0,6 m<sup>2</sup> de mur par journée de travail de huit heures.

Dans la répartition du temps, il faut compter environ 25 % pour la préparation et l'étalage et 75 % pour le polissage.

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION :

© 1983

**GAITerre**

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

### • Les outils

L'équipe qui effectue la mise en œuvre utilise en grande partie les mêmes outils que le plâtrier avec en plus trois outils "spécifiques".

#### La pierre à polir

C'est un galet de l'oued qui s'use sur le matériau. En fait il en existe deux sortes :

- un galet neuf un peu arrondi qui sert à débiter le polissage.
- un autre galet usagé dont une face est plane, à cause de l'usure et les arêtes vives, qui sert à finir le polissage et permet de travailler dans les angles des pièces.

#### Une petite raclette : le fortass sghir

C'est une fine lame de bois de cèdre très souple qui permet de lisser en douceur l'enduit après un premier passage à la truelle.

#### Le savon noir

Généralement dilué dans de l'eau dans un seau, il sert de lubrifiant et est étalé sur le mur à l'aide d'un chiffon bien imbibé.

#### Coût

La procédure de mise en œuvre et la quantité de main-d'œuvre nécessaire ne fait pas du Tadellakt un enduit bon marché. C'est la raison pour laquelle, de nos jours il a tendance à disparaître ou à être utilisé uniquement dans la construction des maisons modernes appartenant à des propriétaires aisés.

Le prix d'entreprise est facturé à 120, 130 DH/m<sup>2</sup> pour un prix de revient d'environ 90 à 100 DH (non compris la préparation du mur).

Des réalisations faites par les artisans eux-mêmes doivent permettre d'obtenir des prix plus intéressants d'environ 40 à 50 DH le m<sup>2</sup>.

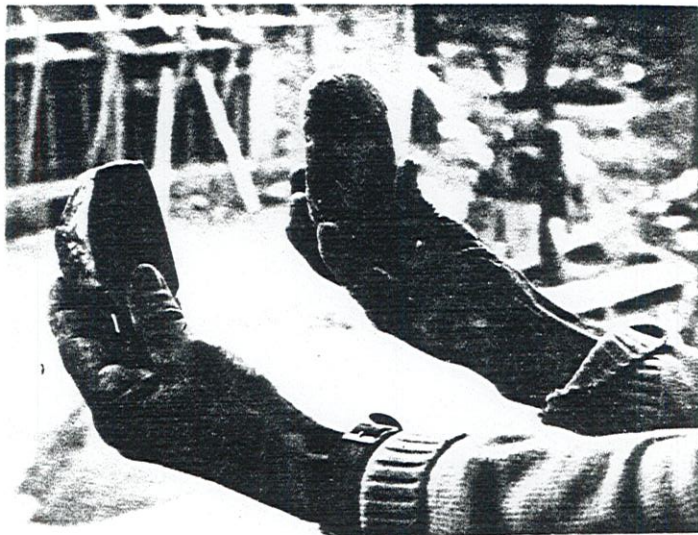
Pour apprécier réellement le coût de cet enduit, il faut tenir compte de deux facteurs :

- ce prix est le prix du mur fini, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de peinture à rajouter puisque le matériau est teinté dans la masse.
- un Tadellakt bien réalisé sur un support ayant été bien mis en œuvre ne nécessite pas du tout d'entretien.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## DEGRADATIONS TYPEES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT

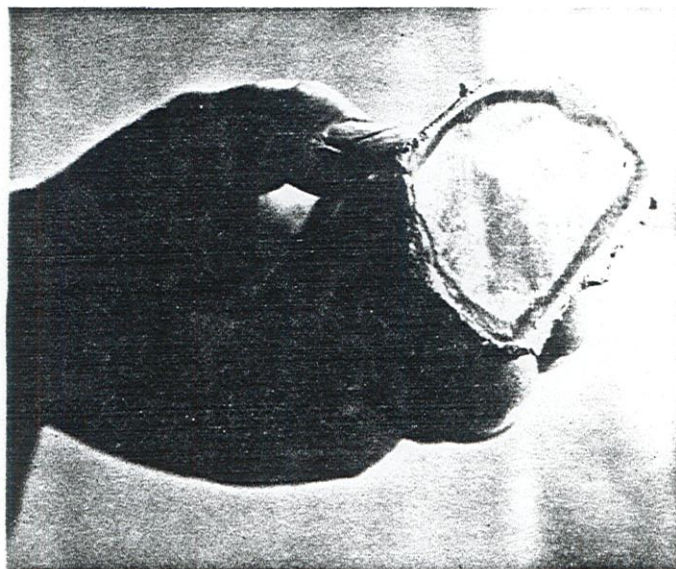
### TADELLAKT



Polissage à l'aide d'un galet de l'oued



Graissage au savon noir



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

- **Pathologie du matériau**

### Précautions de mise en œuvre

Le choix de la chaux est déterminant. Celle-ci doit être pure et ne pas contenir de bouts de cendres ou de traces de fumées résultant de la combustion.

Pour la réalisation d'un Tadellakt extérieur, la mise en œuvre doit se faire à l'ombre du soleil pour ralentir le séchage et éviter des fissurations dues à un retrait trop rapide. Un écran protecteur doit donc être mis en place.

Une autre difficulté réside dans la nécessité de traiter tous les panneaux muraux en une seule fois afin de ne pas avoir de ligne d'arrêt correspondant aux phases de réalisation. Il faut donc préparer la totalité de la chaux utilisée, en une seule fois. Le problème identique se pose pour la couleur et son homogénéité ; l'enduit doit être teinté en une seule fois.

### Dégradations

Le Tadellakt est un matériau très étanche. En enduit extérieur il sert d'ailleurs à recouvrir les sommets de murs (exemple du rempart de Marrakech : les parties non dégradées sont recouvertes de Tadellakt) et à protéger des gargouilles ou canalisations verticales d'eau pluviale.

Les principales dégradations du Tadellakt ne proviennent donc pas d'infiltrations ou de l'eau (sauf mauvaise mise en œuvre) mais des chocs.

### Chocs aux angles des murs

— Les angles de murs et les arêtes vives doivent être protégées par des matériaux résistants.

### Chocs en surface, accrochage sur les murs

— Tout accrochage, ou tout scellement dans un mur en Tadellakt doit être prévu dès la conception car il est impossible d'opérer des raccords sur un Tadellakt fini.

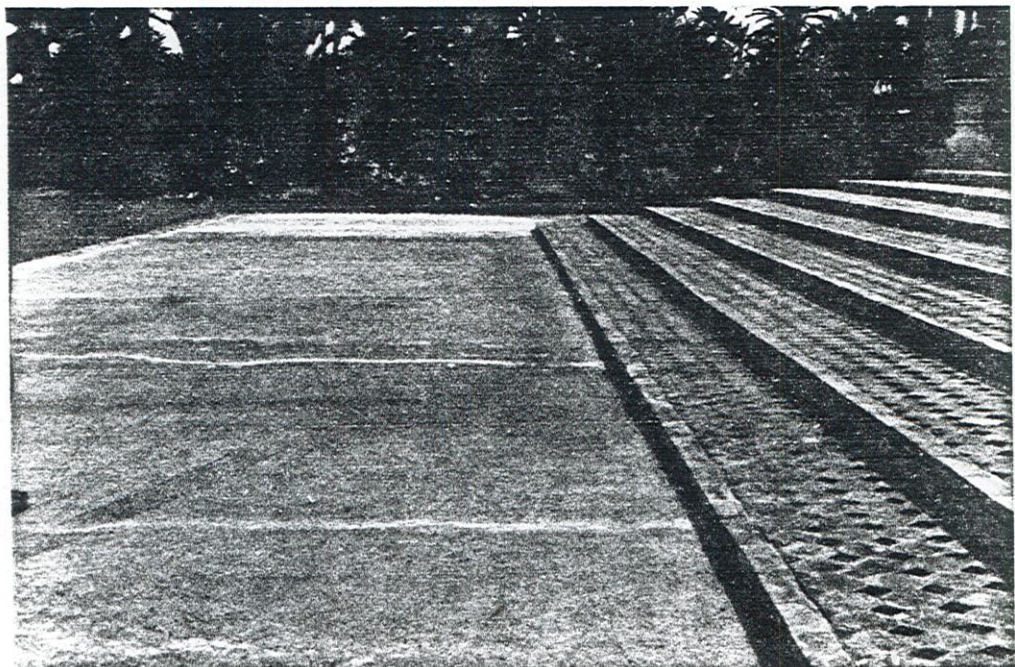
### Chocs aux tableaux d'ouvertures

— Les encadrements de fenêtres généralement protégés par du Tadellakt, souffrent parfois du frottement des persiennes qui provoquent ainsi une dégradation du matériau.

**TADELLAKT**



Différentes utilisations du Tadellakt



## PROTECTION DE SURFACE DES TERRASSES : LE DESS

(d'après enquête de Mr Madihy, technicien de l'ERAC-Tensift)  
réalisation du dess

— damage au pisoir en bois d'une forme de pente réalisée en terre à pisé dont les gros agrégats de granulométrie à 40 mm n'ont pas été tamisés. En cas de non disposition d'une terre à pisé, le matériau de la forme de pente peut résulter d'un mélange de tout-venant de rivière d'une granulométrie continue (sables et graviers de 0,5 à 40 mm) et d'une terre argileuse donnant une plasticité au matériau. L'épaisseur de cette forme de pente damée est de l'ordre de 20 cm.

— application d'un enduit de forme composé de 50 % de sable 0,5 et de 50 % de chaux hydraulique. Cet enduit est serré par damage à l'aide d'un pisoir et d'une batte en bois avant son durcissement et forme une coque monolithe résonnante ; (protection par grande chaleur ou humidification pour un lent séchage).

— finition par application d'une barbotine de chaux hydraulique servant à obturer les microfissures de retrait.





**filières terre**

## FILIERES TERRE

### CHOIX DES FILIERES DEVELOPPEES

#### 1. CHOIX DES FILIERES TERRE DÉVELOPPÉES

- Les filières terres développées dans le cadre de l'opération "**Marrakech 83, habitat en terre**", sont les suivantes :
  - Pisé
  - Bloc compressé
  - Adobe
  - Brique cuite + terre
- Ces filières sont soit utilisées dans la construction en terre marocaine actuelle, dans leurs formes traditionnelles (pisé, adobe, brique cuite + terre), soit en train d'opérer un récent développement, tel que témoigne l'emploi du bloc compressé sur quelques chantiers locaux, à Marrakech.
- Dans le contexte de cette opération, le choix de ces filières est d'emblée justifié par la possibilité d'une exploitation à demeure d'un savoir-faire très élaboré et abondamment pratiqué (pisé, adobe) et également par les recherches et les récentes applications dont elles font l'objet (bloc compressé). Ce savoir-faire décrit des modes de production variés qui sont techniquement et économiquement compatibles avec les objectifs poursuivis.
- Le développement de ces filières, dans une voie d'équilibre entre la continuité d'un savoir-faire local accompli et l'usage approprié des bénéfices d'une technologie terre "moderne", permet d'envisager une adaptation technique et économique à la pluralité des contextes cibles visés, soit en milieu rural, urbain ou péri-urbain.
- L'adaptation de l'échelle des modes de production, de l'artisanal à l'industriel (y compris l'ensemble des échelles intermédiaires), associé à une introduction réfléchie d'innovations technologiques (modernisation des filières depuis la production jusqu'à la mise en œuvre), permet une grande plage de réponses appropriées aux exigences de faisabilité technique et économique posées à court terme (dans le cadre de l'opération actuelle) et à moyen terme pour le développement ultérieur d'une construction en terre au moindre coût.
- La modernisation raisonnée des filières pisé, bloc compressé, adobe, brique + terre, permettra d'assurer le recouvrement d'une légitimité technique du matériau terre indispensable au développement d'une filière terre marocaine moderne et pourrait être susceptible d'apporter des solutions appropriées à un énorme besoin de logements économiques pour le plus grand nombre (objectifs poursuivis).

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : **GAITerre**

## 2. DÉFINITION DES FILIERES ET DES MODES DE PRODUCTION

### • Présentation

- Les filières terre développées dans le cadre de l'opération sont présentées par la suite ainsi que leurs modes de production. Nous donnons ici une définition générale des filières, invitant les concepteurs des projets à se reporter à des ouvrages qui en présentent une description détaillée. A cet égard, les documents "**Construire en Terre**" (1) et "**Village Terre**" (2) serviront de référence (cf. chapitre 1, titre 1).
- Au-delà d'une définition générale des filières, nous nous attachons à décrire des modes de production locaux en restituant une information qui provient d'enquêtes réalisées dans la région de Marrakech et dans le Sud Marocain. Ces enquêtes menées sur plusieurs chantiers et dans plusieurs unités de production de matériaux précisent des formes locales des modes de production et de mise en œuvre et consignent des données relatives aux rendements et aux coûts de production et de mise en œuvre.
- On rappellera que les données chiffrées présentées par la suite ont été recueillies au cours du mois de mai 1983. Pouvant servir de référence, ces données ne peuvent servir de base pour l'établissement de devis sans avoir été réactualisées.

(1) Doat, P., Hays, A., Houben, H., Makuk, S., Vitoux, F., Construire en terre. Ed. Alternatives, Paris, 1979, 265 p., réédition, Alternative, Paris, 1983.

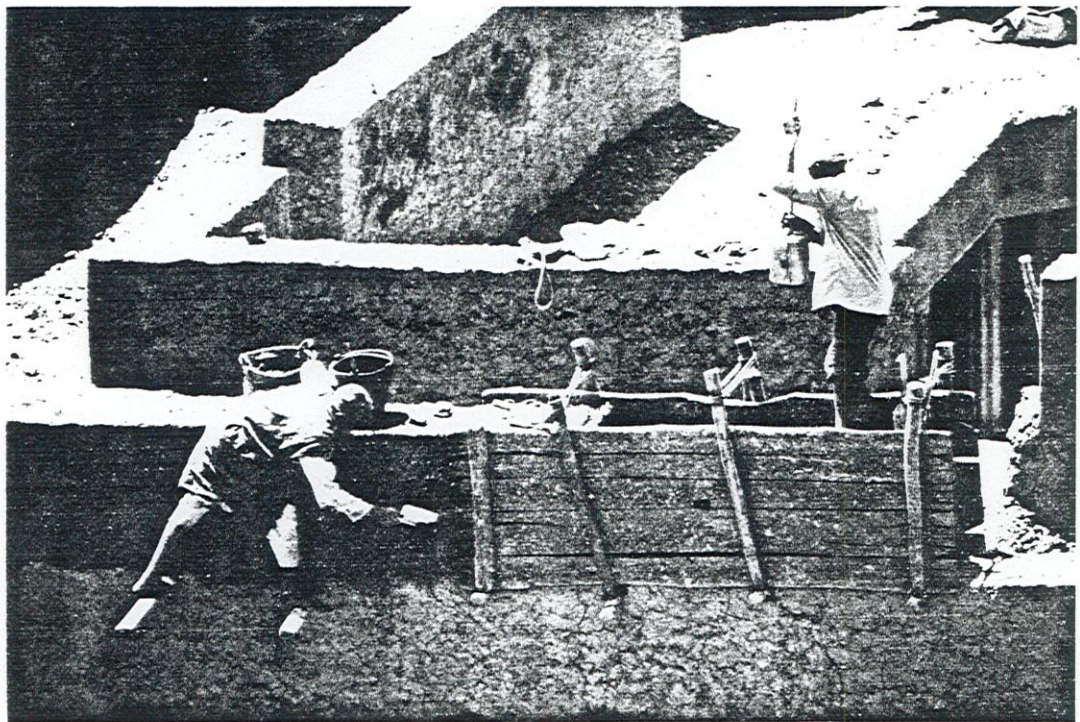
(2) PLAN-CONSTRUCTION, MINISTERE DE L'URBANISME ET DU LOGEMENT, A.G.R.A., recommandations pour la conception des bâtiments du VILLAGE TERRE. AGRA - PLAN CONSTRUCTION, Paris, 1982, 205 p.



**pisé**

#### 2.1 . LE PISÉ

- Présentation générale de la filière
- La technique du pisé consiste à battre de la terre à l'état humide, en couches successives peu épaisses (10 à 20 cm), entre des planches de bois ou des coffrages. Sous l'effet du damage, la terre se lie et forme une masse homogène qui permet d'élever des habitations aux murs massifs de plusieurs niveaux. Dans le Sud Marocain, les Ksours et les Kasbahs des vallées du Dadès, du Draâ, témoignent des performances architecturales que permet la construction en pisé.



Construction traditionnelle en pisé dans la haute vallée du Dadès. Le parement de la banchée fraîchement décoffrée est aussitôt fini à l'aide d'une **Khabatta** en bois. Le Maâlem réalise la banchée suivante.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

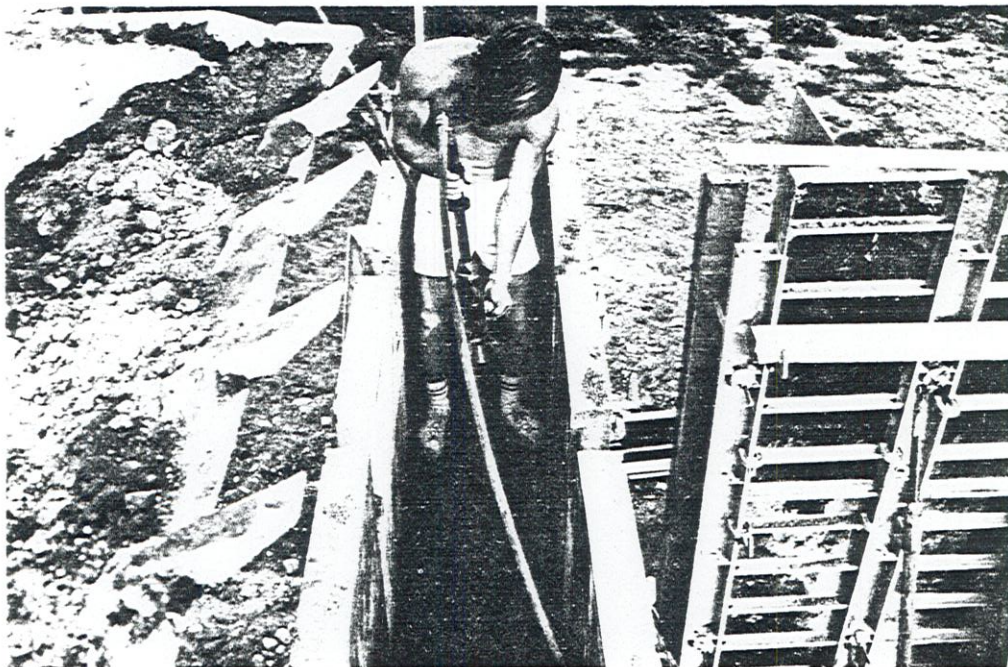
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** • 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

#### MISE EN OEUVRE ACTUELLE DU PISÉ

- Les principaux problèmes que pose la construction en pisé concernent les outils de damage, le pilon ou la dame, et les banches ou coffrages que l'on emploie pour la mise en forme de la terre.
- Dans leur conception et leur forme traditionnelles, les pilons et les coffrages sont très simples ; ce sont principalement quelques pièces et planches de bois assemblées.
- Les évolutions modernes de la construction en pisé ont essentiellement visé l'amélioration des rendements. Dans ce but, la technique traditionnelle du damage manuel au pilon de bois a évolué vers l'emploi de fouloirs pneumatiques. Ces engins sont originaires de l'industrie métallurgique, du type de matériel utilisé en fonderie. Les fouloirs pneumatiques sont assez légers, fiables et d'un bon rendement ; par ailleurs, ils demandent peu d'entretien.
- Cependant, les modèles de fouloirs pneumatiques les plus lourds et les plus puissants exercent sur les banches des pressions exagérées : il convient donc de réduire leur puissance de frappe tout en maintenant le même rendement ou de se contenter des modèles plus légers.



Damage à l'aide d'un fouloir pneumatique

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

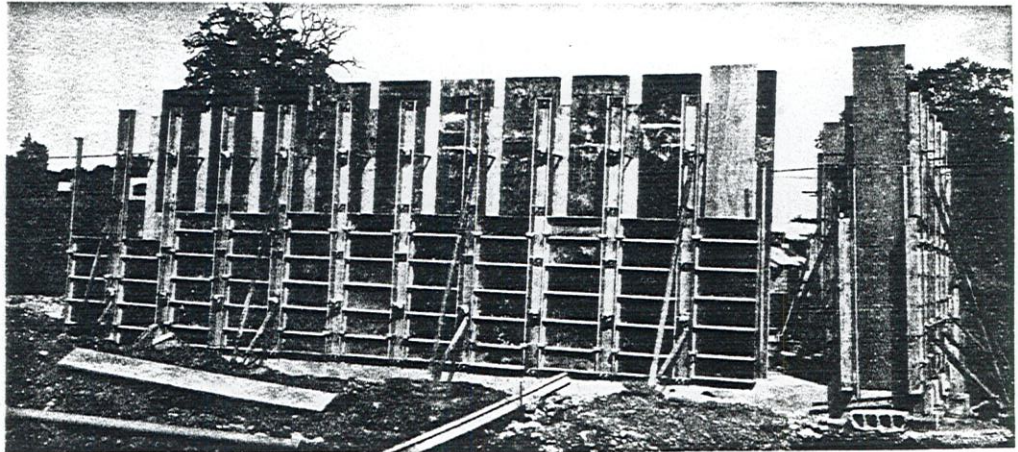
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

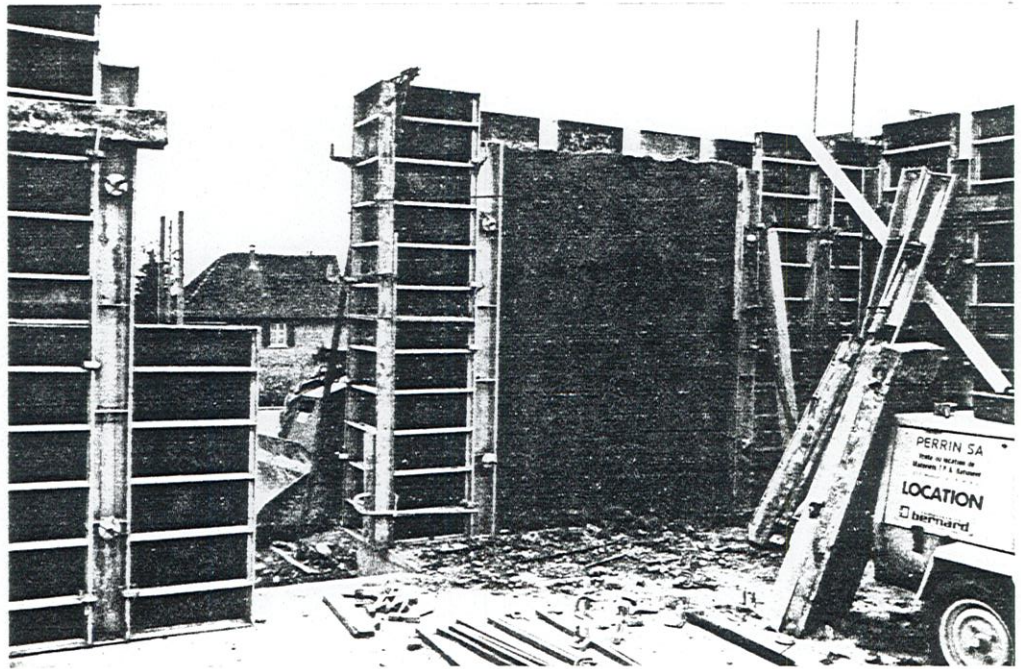
## FILIERES TERRE

### LE PISE

- En matière de coffrage, la plupart des techniques modernes dérivées de la construction en béton ont été essayées : coffrages métalliques, grimpants, intégraux, modulaires, etc... Jusqu'à ce jour, les rendements obtenus avec ce type de coffrages n'ont pas égalé ceux obtenus avec des coffrages traditionnels dont la vitesse et la flexibilité d'utilisation sont éprouvées. Les recherches dans le sens, de l'emploi des coffrages intégraux, actuellement poursuivies, peuvent évoluer vers de bonnes performances.



Coffrage intégral utilisé sur un chantier français, 1983 ; entreprise Terre-Soleil, Mr Gumbau J. Les Charpennes - Bâtiment G - 38290 Villefontaine.



Décoffrage immédiat de la partie de mur banché.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

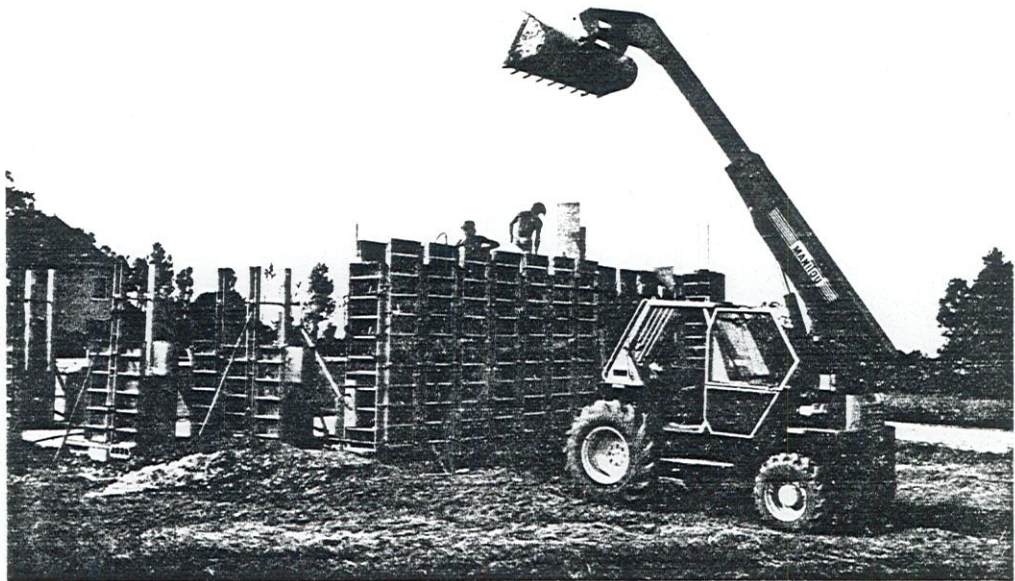
D'APRES DOCUMENTS  
de M. J. GUMBAU

© 1983

## FILIERES TERRE

### LE PISE

- L'utilisation d'un outillage moderne a néanmoins permis de solutionner d'autres problèmes tels que organisation du travail, résistance des coffrages aux hautes pressions de compactage, qualité de la finition des ouvrages.
- Il ne semble pas que la technique du pisé puisse évoluer vers une technologie résolument nouvelle. Les recherches actuelles se tournent vers la mise au point de coffrages de petites dimensions, légers et de manipulation aisée et vers un compactage à l'aide d'engins à puissance adaptée. Les stades de production situés en amont du damage de la terre dans les coffrages, tels que extraction, criblage, élévation de la terre et décharge dans les banches, font l'objet d'une mécanisation.



Elevation mécanisée de la terre à l'aide d'un manitou.  
Chantier Terre-Soleil, entreprise J. Gumbau - 38290 Villefontaine.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

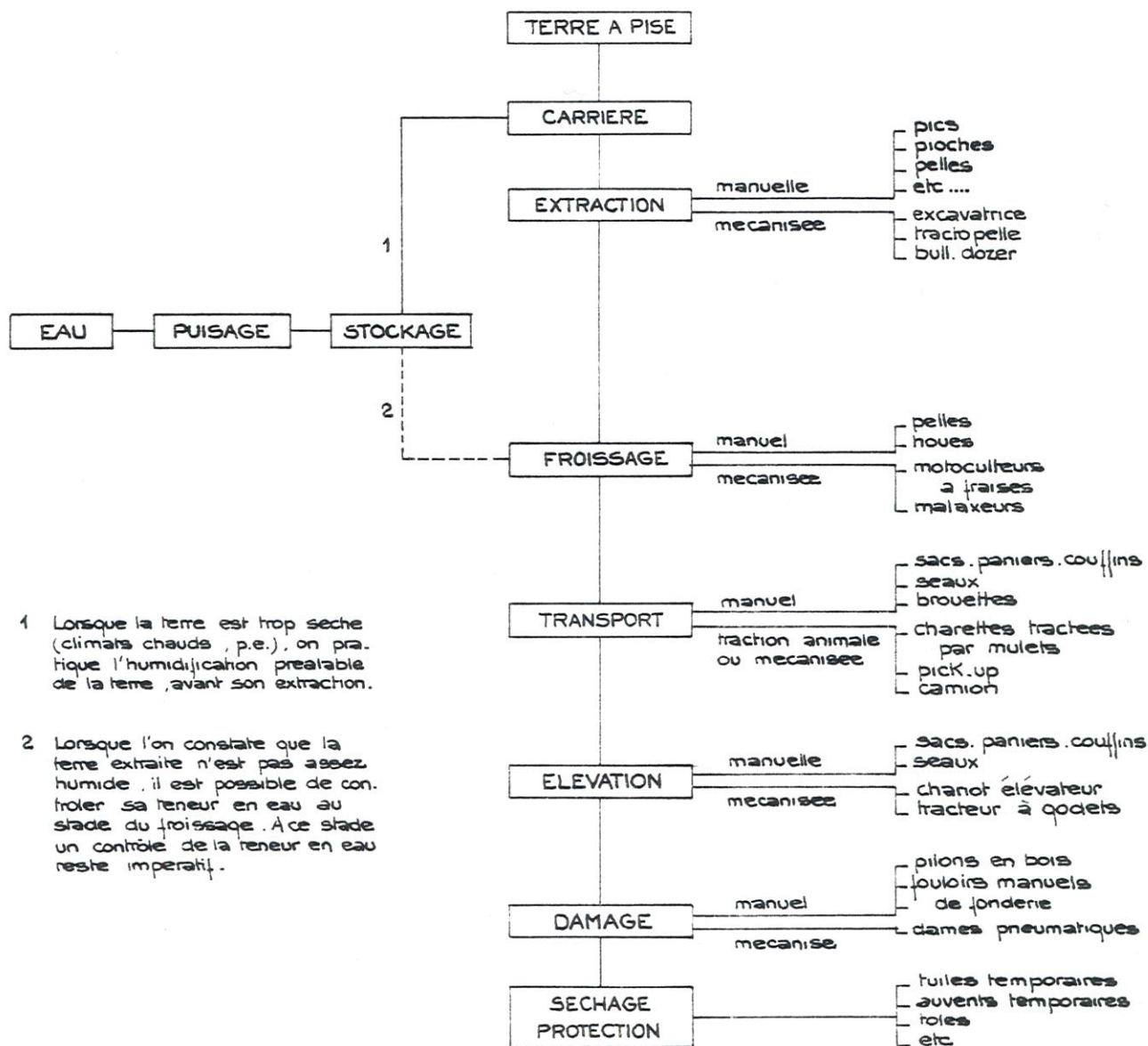
DOCUMENTS TERRE-SOLEIL 1983  
J. GUMBAU



# FILIERES TERRE

## LE PISE

PISE : MODE DE PRODUCTION  
- schéma simplifié des opérations -



1 Lorsque la terre est trop sèche (climats chauds, p.e.), on pratique l'humidification préalable de la terre, avant son extraction.

2 Lorsque l'on constate que la terre extraite n'est pas assez humide, il est possible de contrôler sa teneur en eau au stade du froissage. À ce stade un contrôle de la teneur en eau reste impératif.

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

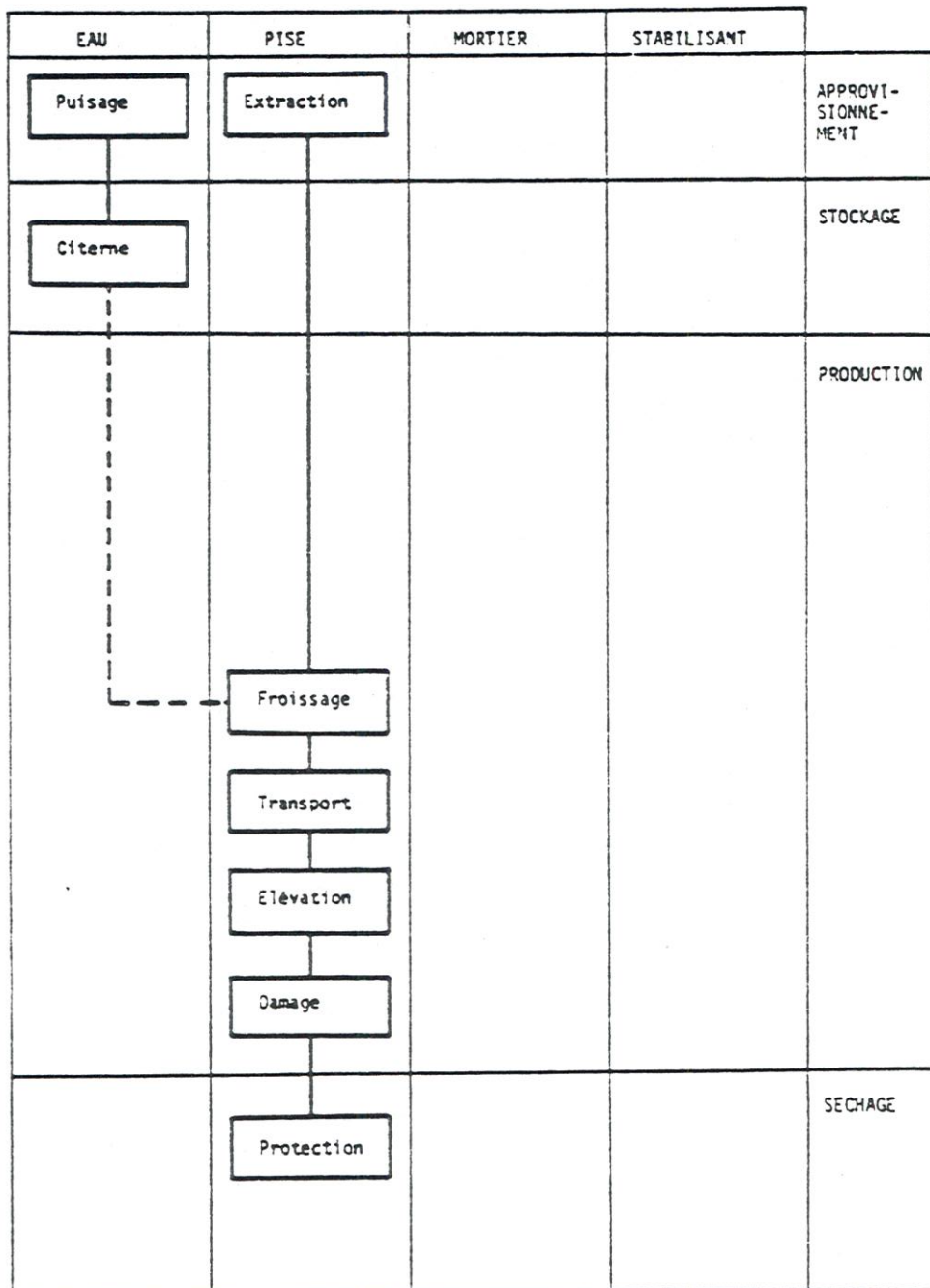
REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## LE PISE

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



Ref: "VILLAGE TERRE" AGRA/PLAN CONSTRUCTION. PARIS 1982

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

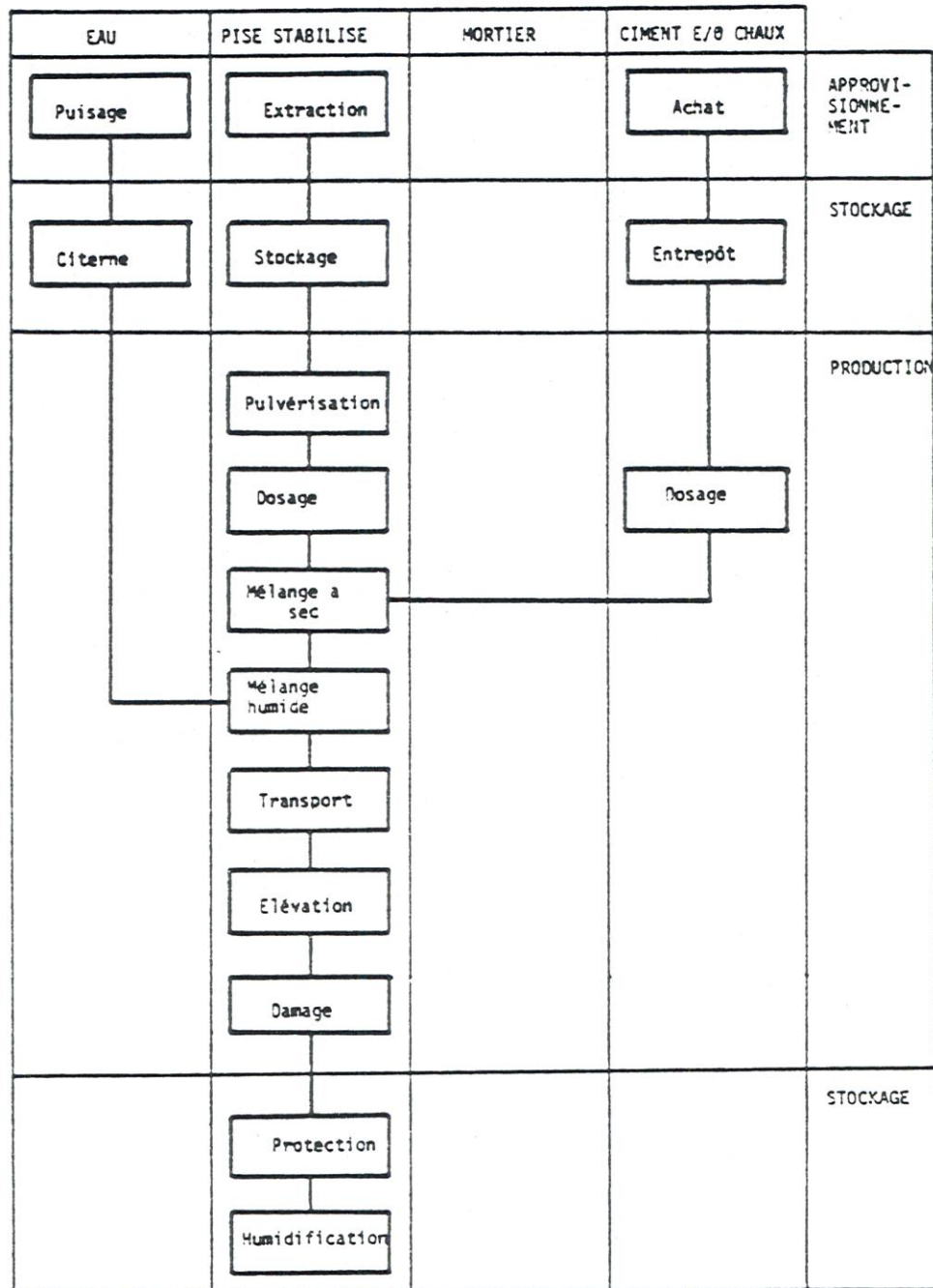
REALISATION: **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## LE PISE

Schéma de production pour le pisé stabilisé au ciment ou/et chaux.



Ref: "VILLAGE TERRE" AGRA/PLAN CONSTRUCTION. PARIS 1982.

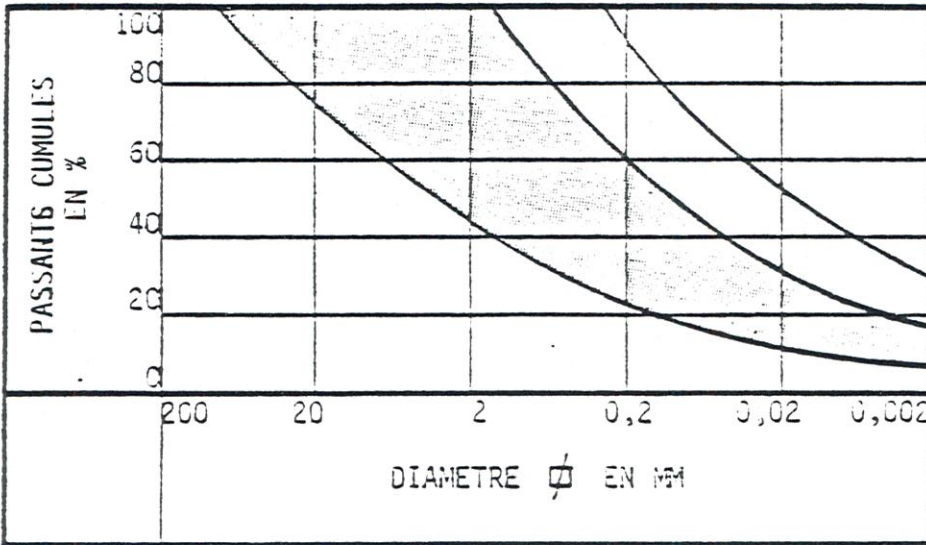
### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION: **CRATerre** © 1983

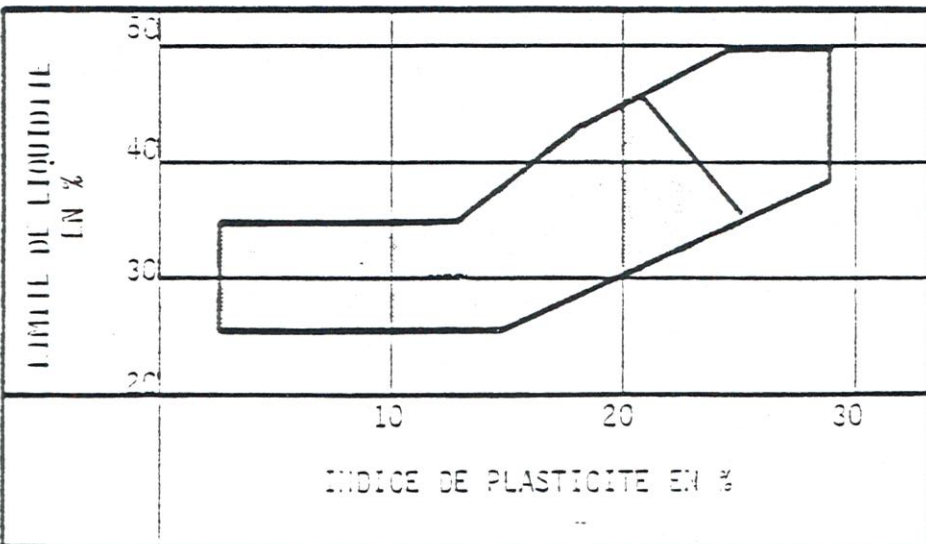
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

CRITERES DE CONVENANCE DES TERRES

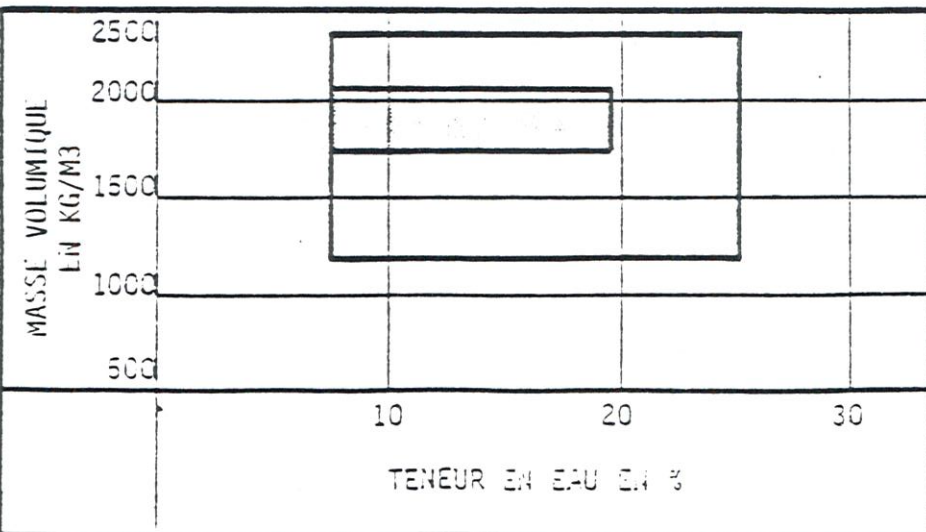
PISE



GRANULARITE



PLASTICITE

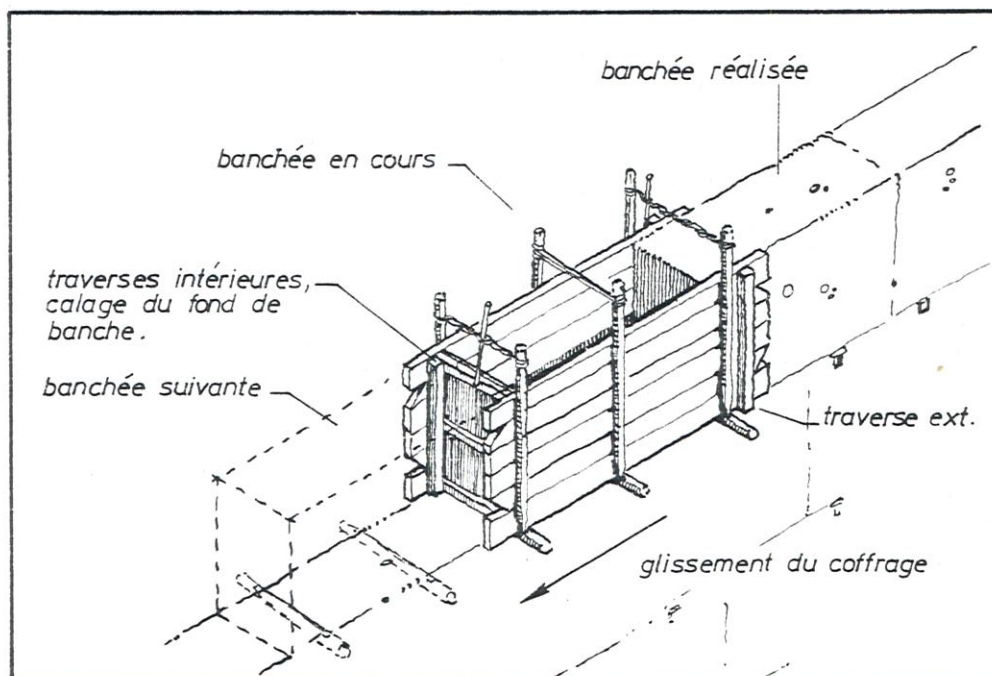


COMPACTIBILITE

# FILIERES TERRE

## LE PISE

- La filière pisé traditionnelle au Maroc
- Quelques données sur l'outillage et le mode de production
- Dans la tradition marocaine du pisé, la terre est battue manuellement à l'aide de pilons en bois dans des coffrages également en bois. Le terme local "leuh" qui désigne tantôt le coffrage ou le pisé est également une mesure métrique du pisé qui correspond en moyenne à une banchée longue de 2 mètres, large de 60 cm et haute de 80 cm.
- Les banches sont réalisées en planches de bois de bonne qualité (bois blanc) et représentent un investissement de l'ordre de 500 DHS. Les planches sont maintenues à chacune des extrémités de la banche par deux traverses clouées, l'une en parement extérieur, l'autre en parement intérieur. Cette disposition de cloutage des traverses permet d'une part de caler la porte de banche (traverse en parement intérieur) et d'autre part ne gêne pas l'appui de la banche sur la banchée fraîchement réalisée lors du glissement du coffrage.
- Des encoches réalisées aux extrémités des banches, en partie haute et basse ainsi qu'une évidure ménagée au milieu de la banche, permettent une manipulation et un transport aisés du coffrage.



### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

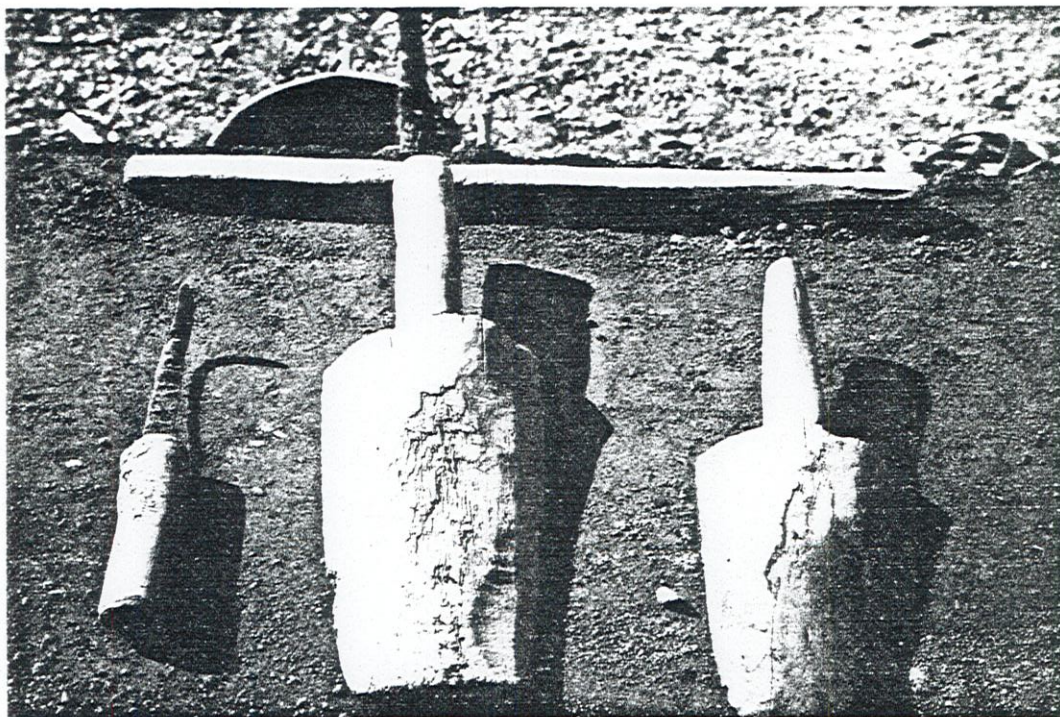
COLLABORATION : GAITerre

## FILIERES TERRE

### LE PISE

Les banches sont retournées après quelques banchées réalisées pour que le parement humidifié par la terre damée puisse sécher. Cette manipulation permet d'éviter que la terre colle à la banche.

- Le dressage des banches et leur mise de niveau sont assurés par le maâlem aidé d'un de ses manœuvres. La banche marocaine traditionnelle est d'une manipulation aisée et admirablement conçue, ce qui facilite un montage et un démontage rapide. Ces opérations prennent environ dix minutes et ne grèvent pas le rendement de travail.
- Dans l'ensemble des outils servant à construire le pisé, on remarque également la présence de petites battes de bois (**khabbatas**) qui servent à finir les parements des banchées fraîchement décoffrées. Une khabbata, plus plate et légère est utilisée pour battre le parement visible de la banchée fraîchement décoffrée. Un grattoir est préalablement employé pour préparer ce travail de finition des banchées damées.



#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

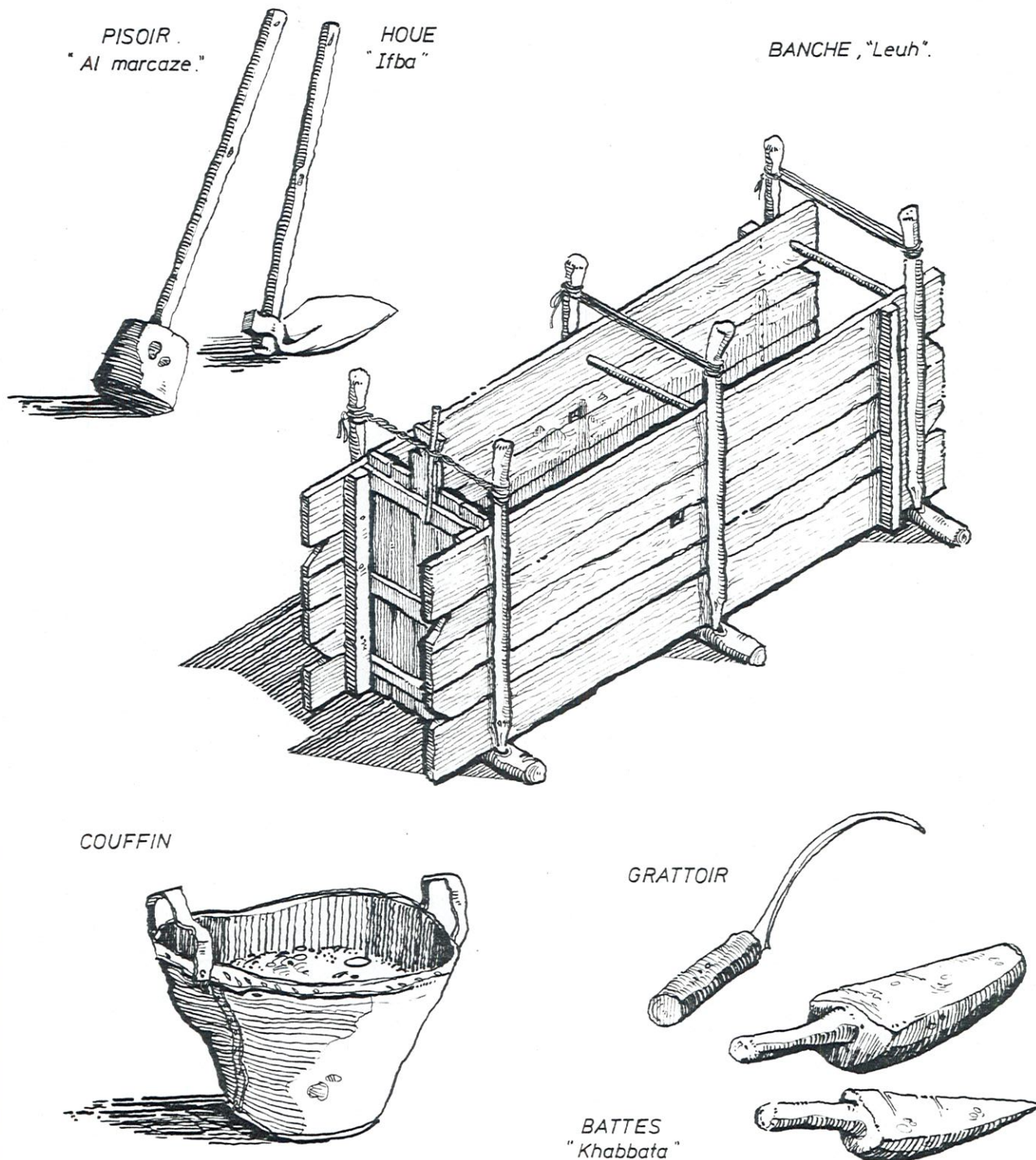
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

# FILIERES TERRE

## LE PISE



P. Pellet

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

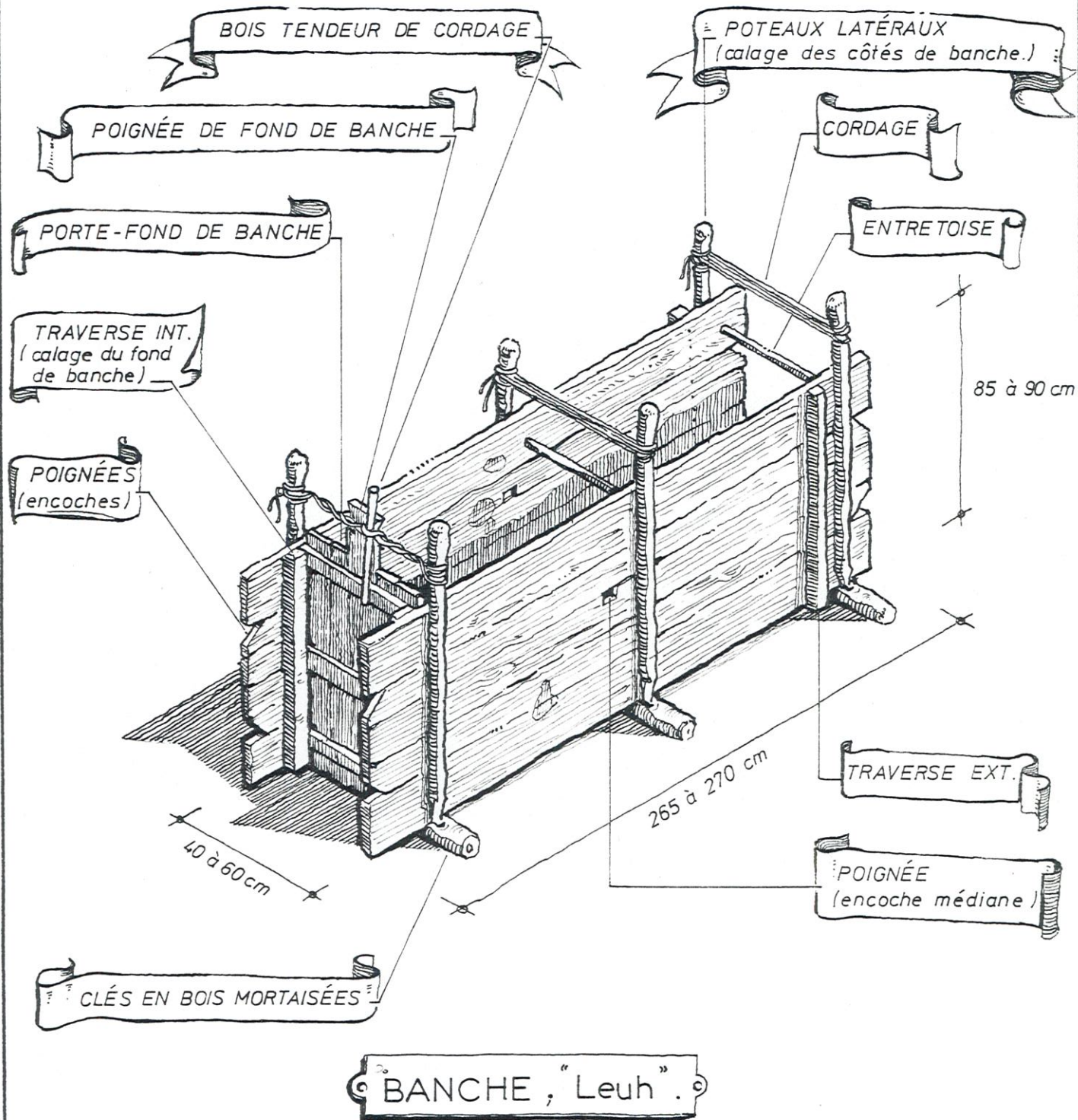
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

# FILIERES TERRE

## LE PISE



AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre • 1983

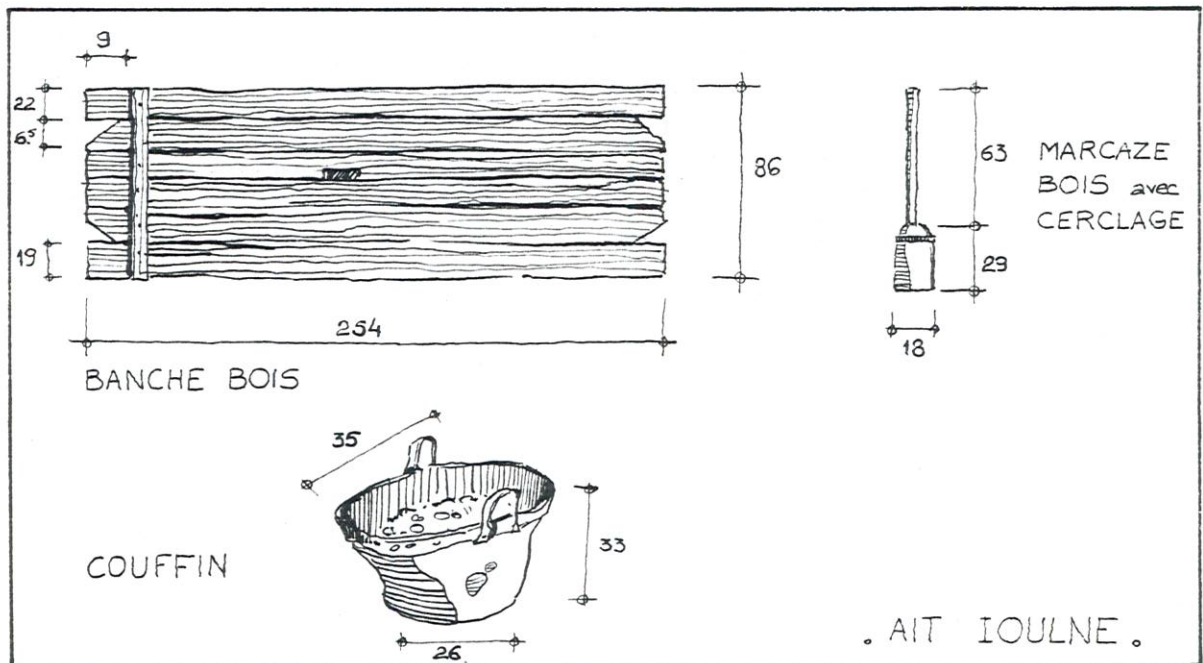
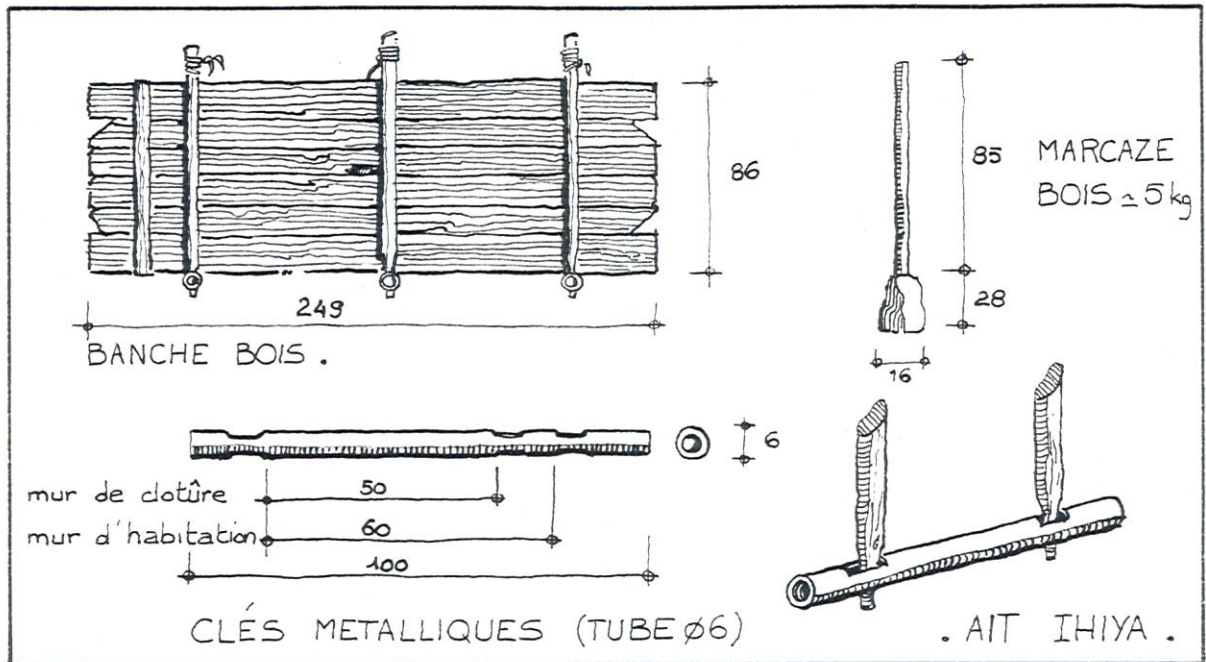
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : GAITerre



# FILIERES TERRE

## LE PISE



*Prillet*

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

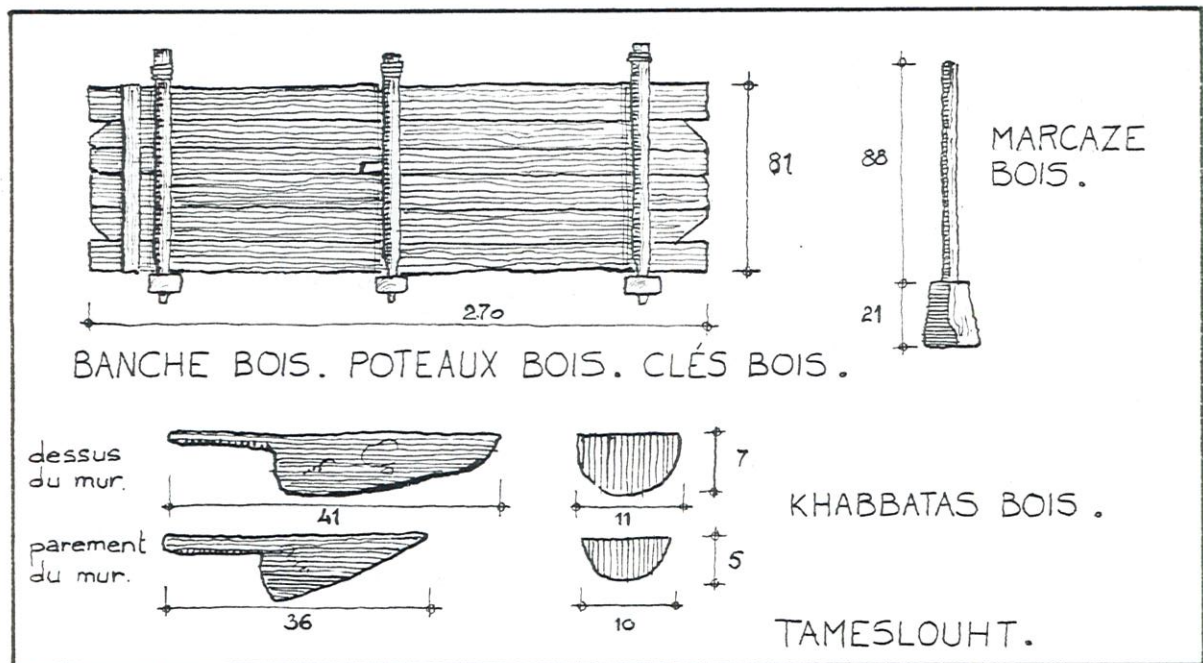
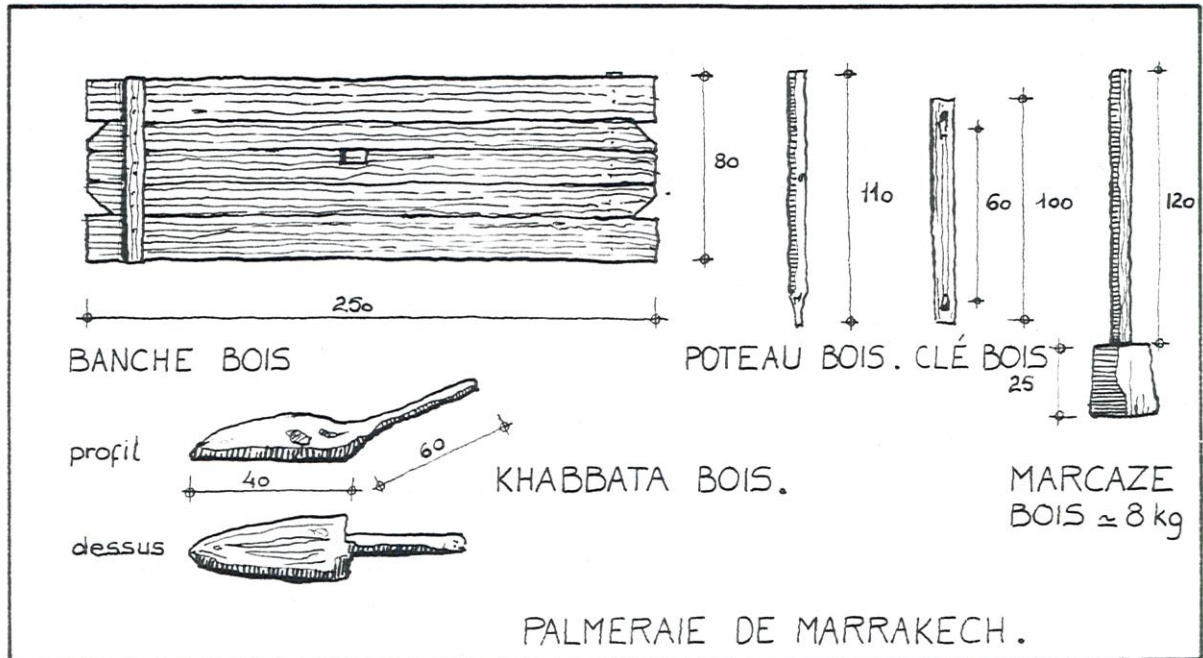
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : **GAITerre**

# FILIERES TERRE

## LE PISE



Projet

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

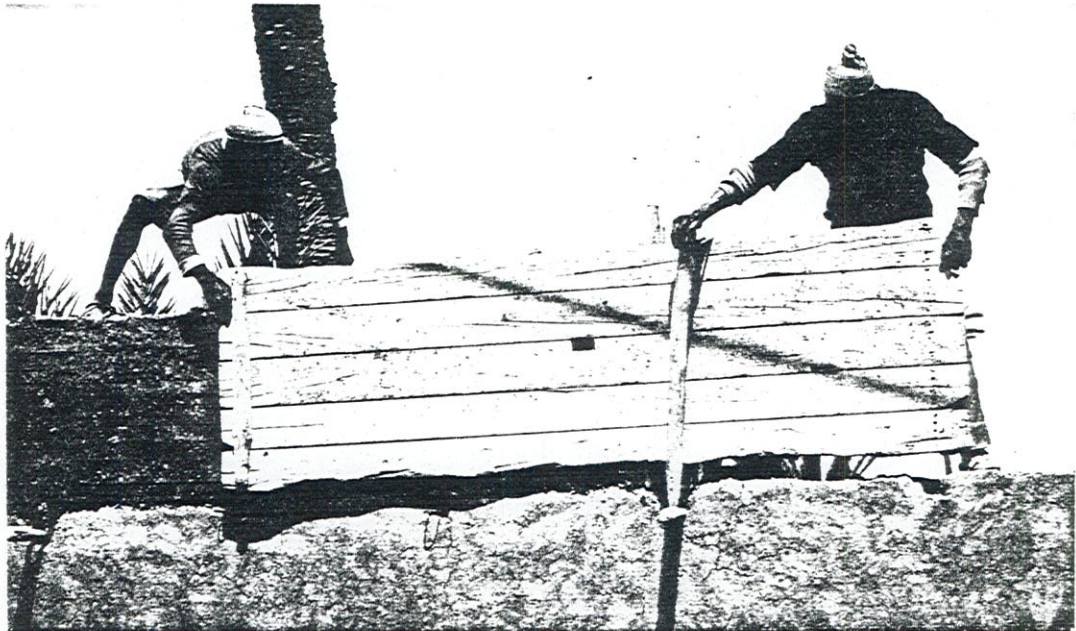
COLLABORATION : GAITerre

## FILIERES TERRE

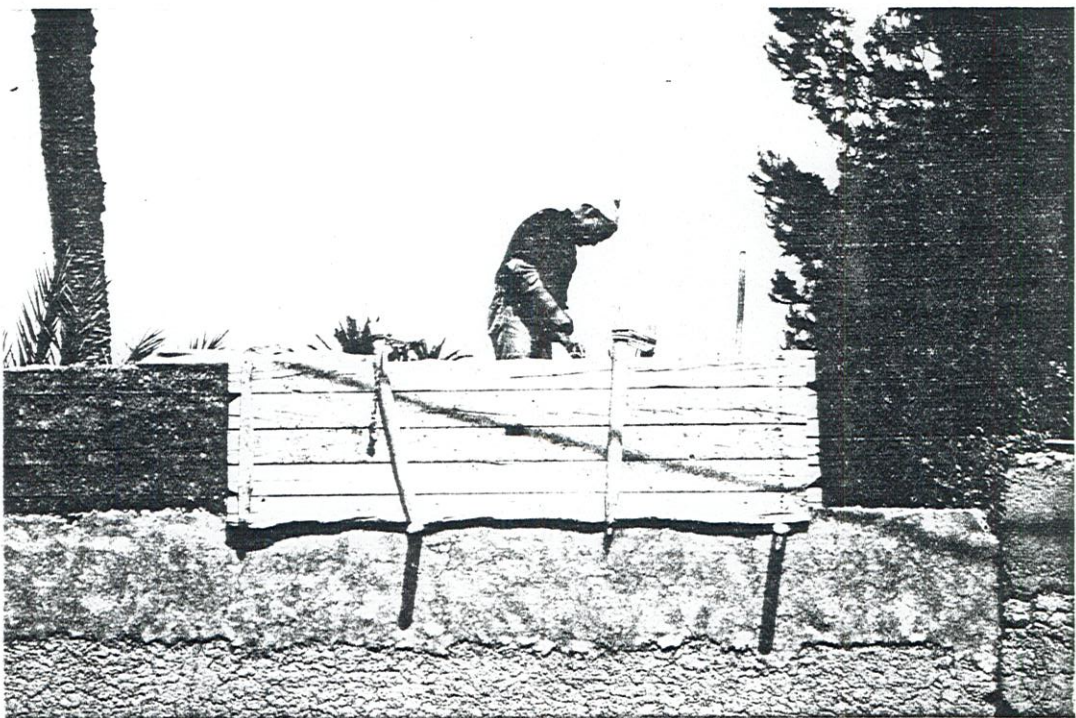
### LE PISE

#### TRADITION DU PISÉ AU MAROC

Un chantier dans la palmeraie de Marrakech



Déplacement des banches ; un des jeux de poteaux et de clés est conservé.



Contrôle de la verticalité du moule au fil à plomb.

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

COLLABORATION : **GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LE PISE

- **Carrière et mise en œuvre**
- Les carrières de terre sont le plus souvent à proximité immédiate de la construction en chantier. Après un décapage du sol superficiel, la bonne terre à piser est extraite à une profondeur variable selon la nature géologique du terrain.
- Très souvent, la terre est abondamment arrosée la veille pour être pisée le lendemain. Cette disposition permet d'obtenir une humidité adéquate, la terre étant souvent trop sèche du fait de la chaleur du climat local.



Une carrière de terre à pisé. On remarque l'humidification préalable de la terre ; l'eau est retenue par un système de petits bassins clos par des levées de terre.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LE PISE

- L'extraction de la terre se fait manuellement, à l'aide de pics, de pioches ou de houes et mobilise 1 ouvrier. Le transport de la terre dans des couffins juchés sur la tête occupe 1 à 2 ouvriers (suivant l'organisation du chantier) qui servent le maâlem à tour de rôle.



Chargement de la terre dans un couffin prête à être pisée par le maâlem

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LE PISE

- Le maâlem se tient debout dans la banche, répartit la terre à ses pieds dans le coffrage, la foule puis la dame à l'aide de son pilon en bois. La terre à pisé marocaine est généralement d'excellente qualité aussi le damage des couches de terre est-il souvent très rapide pour l'obtention d'une densité minimale. L'observation des chantiers montre que le compactage est souvent très moyen et qu'un damage accentué pourrâit considérablement élever la densité des pisés réalisés et augmenter ainsi leur durabilité.



Vallée du Dadès ; 1 maâlem en train de piser.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

### LE PISE

- **Evolution de la technique traditionnelle**
- **Mécanisation**

La construction en pisé est toujours pratiquée selon sa forme traditionnelle et ne semble pas avoir fait l'objet d'une modernisation. Aucune mécanisation du travail n'a pu être remarquée. Les seules tentatives de mécanisation qui ont été jusqu'alors réalisées l'ont été dans le cadre d'opérations expérimentales antérieures (B.T.S. 67, p.e.) ; ces tentatives n'ont eu aucun prolongement.

- **Stabilisation**

On remarque l'existence d'une tradition de construction en pisé stabilisé à la chaux. La technique utilise de la chaux naturelle éteinte qui est malaxée à une terre préalablement arrosée, 2 à 3 jours avant son utilisation. La chaux est le plus souvent éteinte par hydratation, sur le chantier. La phase de malaxage de la chaux à la terre ne fait généralement pas appel à un nouvel apport d'eau.

Les dosages moyens qui ont été relevés par quelques enquêtes sont de l'ordre de 6 à 7 brouettes (50 à 60 litres) de chaux éteinte pour 3 m<sup>3</sup> de terre. Ce dosage correspond en gros au cubage de terre stabilisée pour la réalisation de 1 **amara** et demi, soit 6 banchées. La mise en œuvre du pisé stabilisé à la chaux est identique à celle du pisé non stabilisé et emploie le même outillage (coffrages et pilons en bois).

Il existe une différence de coût sensible entre les deux techniques. Les données recueillies sur chantier montrent que le pisé stabilisé est à peu près 4 fois plus cher que le pisé non stabilisé : environ 60 DHS contre 15 DHS au m<sup>3</sup>. Il convient de rappeler que la tonne transportée de chaux vaut environ 150 DHS (prix Avril 1983).

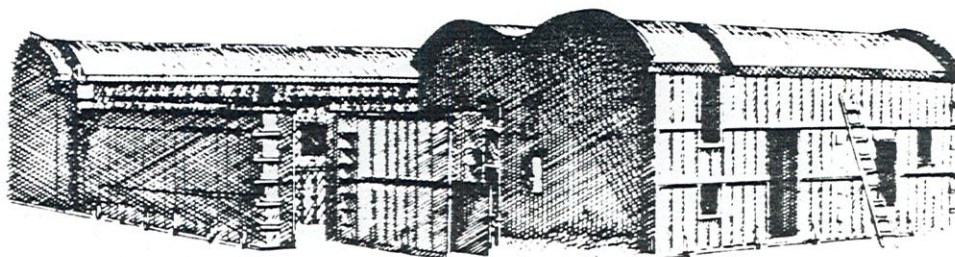
**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

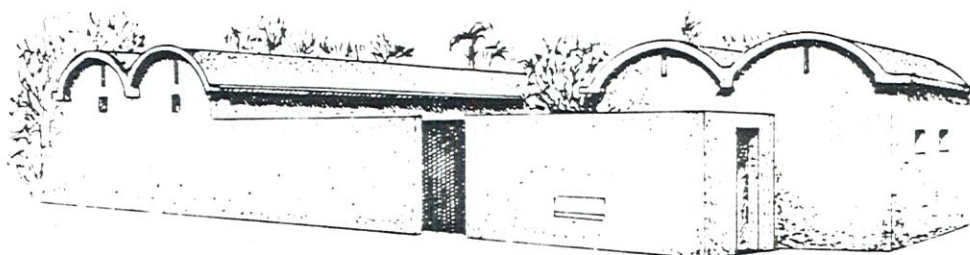
REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**

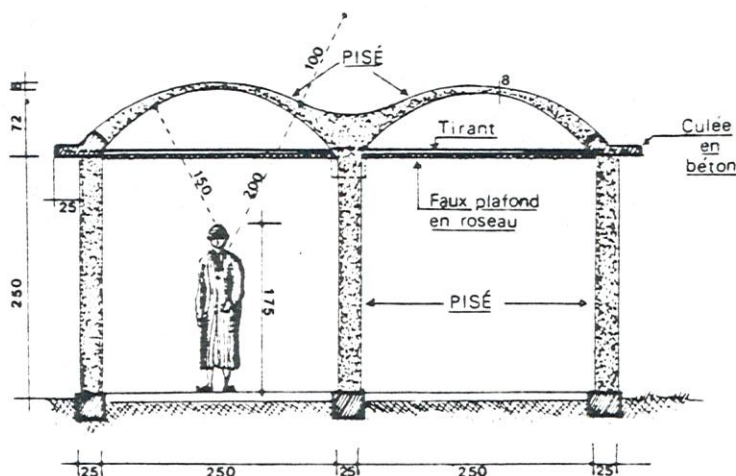
# Projet de OUARZAZATE



Coffrage



Vue générale des batiments



Coupe

Réf: "CONSTRUIRE EN TERRE" CRATerre.Ed Alternatives.p 72.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.



## FILIERES TERRE

### LE PISE

- **Rendements** (pisé traditionnel)
- **Composition type d'une équipe de travail**

Extraction carrière	1 manœuvre	ou	1 manœuvre
Transport du matériau en couffins vers la banche	2 manœuvres	ou	1 manœuvre
Compactage	1 maâlem	ou	1 maâlem
Finition, lissage	1 manœuvre	ou	1 manœuvre
Total	5		4

Les rendements moyens obtenus sur les chantiers qui ont été observés sont de l'ordre de 6 banchées par jour (équipe de 4 hommes), pour la construction d'une habitation. Ce nombre de 6 banchées correspond à une **amara** et demie (1 amara équivaut à 4 banchées).

Dans des conditions optimales (équipe plus complète, journées longues, terre excellente), il arrive que ces rendements atteignent 8 à 10 banchées par jour.

Des rendements supérieurs concernent des ouvrages de moindre qualité (murs de clôture, enclos pour bestiaux) et sont obtenus au détriment de la qualité du pisé.

- **Données complémentaires d'après enquêtes sur le terrain**

Diverses enquêtes menées dans la région de Marrakech et dans le Sud Marocain permettent de préciser les rendements et les coûts de mise en œuvre. Ces données, limitées en quantité ne peuvent prendre une valeur statistique.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LE PISE

- **Enquête rendements et coûts**
- **Tameslouht** : Construction d'un mur de clôture en pisé traditionnel.
  - Dimension des banches : Longueur 2,70 m  
Largeur 0,50 m  
Hauteur 0,81 m
  - Dimension des banchées : Longueur 2,25 m  
Largeur 0,50 m  
Hauteur 0,80 m
  - Cubage par banchée : 0,90 m<sup>3</sup>
  - Composition de l'équipe : 1 maâlem + 3 manœuvres = 4
  - Journée de travail : 8 h/homme, 32 h/équipe
  - Rendement/jour : 1 amara 1/2 = 6 banchées  
soit 5,40 m<sup>3</sup> /jour/équipe  
ou 1,32 m<sup>3</sup> /jour/homme
  - Rendement horaire/m<sup>3</sup> : ≈ 6 heures/m<sup>3</sup>
  - Mesure de coût : amara : 60 DHS pour 1 amara (4 banchées)
  - Coût/m<sup>3</sup> pisé non stabilisé : 16,6 DHS/m<sup>3</sup>
- **Maâlem** : Ahmed, Diour Massakine - Bloc 74 - Maison n° 12

Réf. : Enquête - CRATerre-GAITerre - Avril 83

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LE PISE

- **AIT IHIYA** : construction d'une habitation en pisé traditionnel
  - Dimensions des banches : Longueur 2,49 m  
Largeur 0,49 m  
Hauteur 0,86 m
  - Dimension des banchées : Longueur 2,10 m  
Largeur 0,51 m (gonflement du pisé)  
Hauteur 0,75 m
  - Cubage par banchée : 0,80 m<sup>3</sup>
  - Composition de l'équipe : 1 maâlem + 5 manœuvres = 6
  - Journée de travail : 8 h/homme ; 48 h/équipe
  - Rendement/jour : 1 amara 1/2 = 6 banchées  
soit 4,80 m<sup>3</sup>/jour/équipe  
ou 0,80 m<sup>3</sup>/jour/homme
  - Rendement horaire/m<sup>3</sup> : 10 h/m<sup>3</sup>
  - Mesure de coût : louh : 12,5 DHS par banchée dont  
8,5 DHS pour la banchée elle-même  
et 4 DHS d'équivalent nourriture par  
banchée
  - Coût journée : 75 DHS/jour pour 1 amara 1/2
  - Coût/m<sup>3</sup> pisé non stabilisé : 15,6 DHS/m<sup>3</sup>

Réf. : Enquête - CRATerre-GAITerre - Avril 83

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LE PISE

- **Palmeraie de Marrakech** : construction d'un mur de clôture en pisé stabilisé à la chaux

– Dimension des banches	:	Longueur 2,50 m Largeur 0,50 m Hauteur 0,82 m
– Dimension des banchées	:	Longueur 2,00 m Largeur 0,50 m Hauteur 0,80 m
– Cubage par banchée	:	0,80 m <sup>3</sup>
– Composition de l'équipe	:	1 maâlem + 4 manœuvres = 5
– Journée de travail	:	8 h/homme ; 40 h/équipe
– Rendement/jour	:	1 amara et demie = 6 banchées soit 4,80 m <sup>3</sup> /jour/équipe ou 0,96 m <sup>3</sup> /jour/homme
– Rendement horaire/m <sup>3</sup>	:	8,35 h/m <sup>3</sup>

- **Coût du m<sup>3</sup> de pisé stabilisé à la chaux sur la base de 6 banchées**

#### matériaux

- 3 m<sup>3</sup> de terre naturelle y compris transport : 70,00 DHS
- 7 brouettes de chaux y compris grappiers : 44,94 DHS

#### main-d'œuvre

- 4 manœuvres à 21,76 DHS/j : 87,04 DHS
  - 1 maâlem à 37,50 DHS/j : 37,50 DHS
  - charges sociales 14,80 % : 18,42 DHS
  - assurance 10,4 % : 14,18 DHS
- 272,04 DHS

#### Prix de revient au m<sup>3</sup>

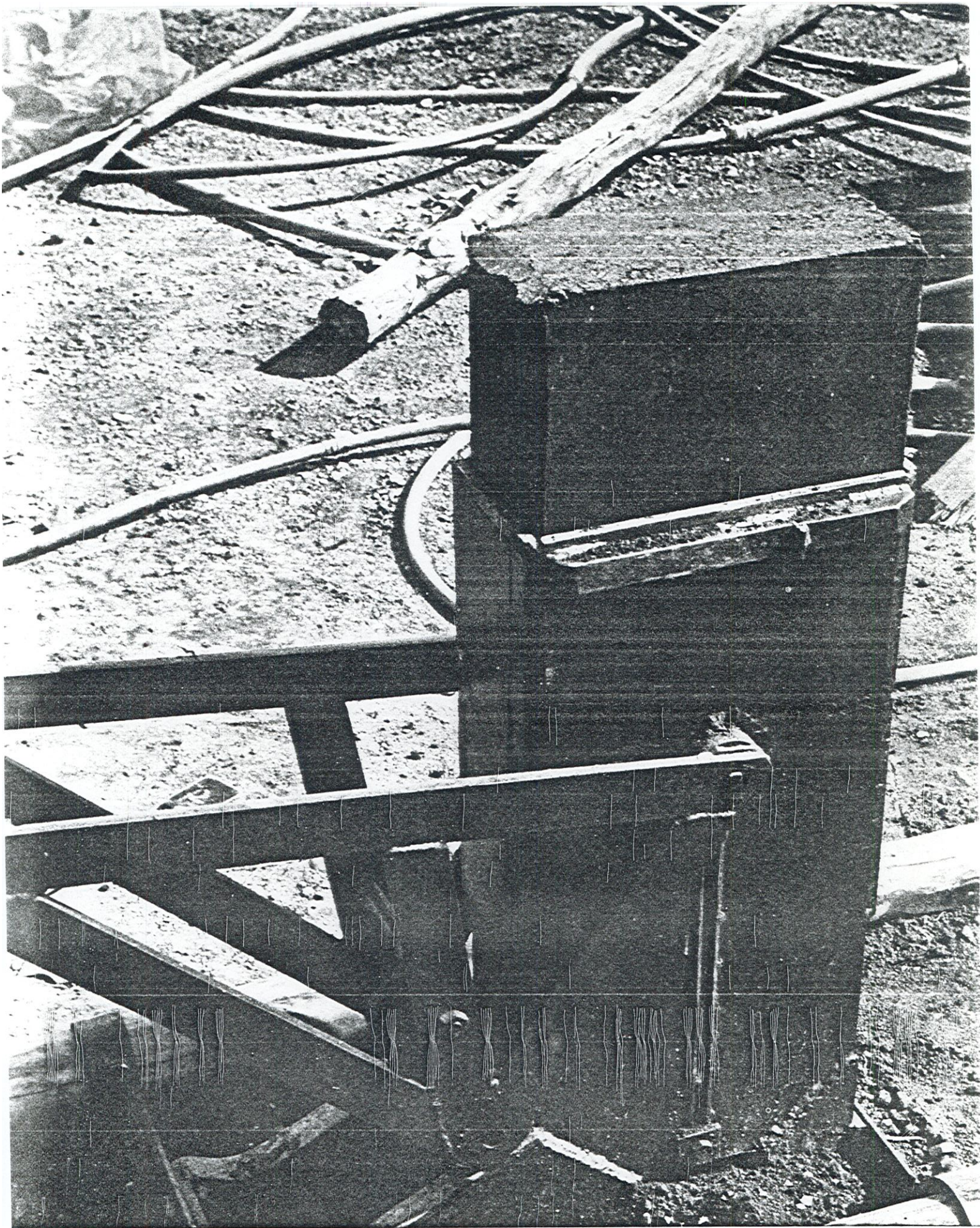
- 272,04 DHS : 4,80 m<sup>3</sup> : 56,68 DHS

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

**GAITerre**



**blocs compressés**

### 2.2 . BLOCS COMPRESSÉS

- **Présentation générale de la filière**
- La production de blocs compressés fait intervenir l'emploi de presses. La terre, légèrement humide (comme pour le pisé), stabilisée ou non stabilisée, est déversée dans un moule de dimensions réduites. Un système de levier, de cames, de bielles ou de pistons hydrauliques permet d'exercer une force importante sur le matériau qui est comprimé et dont le volume est environ réduit de moitié. Le matériau obtenu est un bloc dense qui présente une bonne finition et qui offre les mêmes avantages de souplesse à la mise en œuvre que la brique cuite.
- C'est la mise au point de la presse **CINVA RAM**, en 1952, par le centre **CINVA** de Bogota (Colombie) qui allait promouvoir l'emploi du bloc compressé, grâce à une grande diffusion de la presse. Ce matériau a depuis lors polarisé les efforts de recherche permettant la réalisation de nombreux progrès. Jusqu'alors principalement employé dans les pays en développement, le bloc compressé suscite aujourd'hui l'intérêt des pays industrialisés. Le matériau est apprécié pour ses qualités et ses caractéristiques physiques, mécaniques, pour sa maniabilité, la régularité de ses parements.
- Les recherches sont actuellement dirigées vers la mise au point d'un matériel de production périphérique tel que broyeurs, malaxeurs, pulvérisateurs.
- La diversité des modes de production du bloc compressé, depuis la petite presse manuelle du type CINVA et ses dérivées, jusqu'à l'usine clef en main à haut rendement positionne le bloc compressé sur un grand registre de conditions de production socio-économiques.
- Par rapport à la brique cuite, le bloc compressé présente l'avantage de réduire la consommation énergétique de 35 à 60 %.
- Le catalogue des matériaux qui relèvent de la typologie du bloc compressé est aujourd'hui très large puisque l'on peut en effet trouver des blocs pleins de toutes dimensions, des blocs creux ou évidés, modulaires, des blocs avec griffes ou rainures pour la construction de voûtes et de dômes, des blocs linteaux préfabriqués, des blocs pour revêtement de sol, des claustras, etc...

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- **Blocs compressés : production**
- **Pulvérisation**

La production des blocs compressés met en œuvre une terre à l'état humide. Lorsque l'on envisage de stabiliser les blocs, une pulvérisation préalable de la terre est nécessaire. Cette opération garantira une meilleure répartition du stabilisant. La terre peut être pulvérisée manuellement (travail pénible) ou mécaniquement à l'aide de concasseurs ou de pulvérisateurs. Le matériel de concassage permet de bien briser les mottes et les concrétions tout en évitant le fractionnement des petits cailloux dont la présence dans le matériau est souhaitable.

- **Tamissage**

Après la phase de concassage, on a généralement recours à une phase de criblage. Cette opération s'effectue à l'aide de cribles horizontaux ou inclinés, ou mécaniquement (tamis vibrants ou rotatifs).

- **Dosage**

Pour une production de blocs stabilisés, le dosage du stabilisant est essentiel. Une stabilisation par apport de liant hydraulique, ciment ou chaux, exige de préférence un malaxage à sec avant l'humidification à la bonne teneur en eau. Le dosage à sec se fait par mesure de poids ou par mesure de volume.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** ◉ 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

### LES BLOCS COMPRESSES

**Malaxage** : le mélange terre + ciment (pour un pisé stabilisé dans ce cas) est malaxé à sec puis progressivement humidifié à la T.E.O. à l'aide d'un motoculteur à fraises.

Projet maison communale de PIGNA, Corse ; Groupe A VOLTA 1982.



- **Malaxage**

L'opération de mélange qui suit celle du dosage peut être effectuée manuellement ou mécaniquement. L'un des engins le plus simple, le meilleur marché et remarquablement efficace est le motoculteur à fraises. Néanmoins, cet engin n'est utilisable que sur une aire de production extérieure. En espace réduit, on a recours à l'emploi de malaxeurs du type planétaire. Les malaxeurs linéaires peuvent être employés mais restent moins puissants et moins performants.

- **Moulage**

Les expériences réalisées dans le domaine de la pression exercée sur le matériau ont clairement démontré qu'une pression exercée de  $2 \text{ MN/m}^2$  donne des blocs de qualité acceptable et que  $4 \text{ MN/m}^2$  donne des matériaux de qualité très satisfaisante. Au-delà de ces valeurs, l'énergie et les investissements dépensés n'améliorent pas la qualité de façon extraordinaire. Les produits "hypercompressés" obtenus avec des pressions variant de  $12 \text{ MN/m}^2$  à  $20$  et pouvant aller jusqu'à  $43 \text{ MN/m}^2$  présentent une densité légèrement supérieure. Cette augmentation de qualité est souvent due au type de stabilisant et au traitement ultérieur (produit chimique ou autoclave), plutôt qu'à l'hypercompression.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.



# FILIERES TERRE

## LES BLOCS COMPRESSES

CRATERRE

CAMME DES UNITES DE PRODUCTION

BLOCS COMPRESSES DE TERRE STABILISEE

	COMPACTAGE						
	STATIQUE			DYNAMIQUE			
	MANUEL	MECANIQUE	HYDRAULIQUE	MANUEL	PAR IMPACT MECANIQUE	PNEUMATIQUE	PAR VIBRATION MECANIQUE
Simple presse	○	○	○	○	○	○	●
Presse intégrée à une unité mobile de production	□	●	○	□	□	□	●
Presse intégrée à une unité fixe de production	●	●	○	□	□	□	○

- A existé, existe ou est déjà conçu et sera bientôt sur le marché.
- Système intéressant mais relativement peu exploré. Se trouvera probablement sur le marché avant 1985.
- Ne semble pas intéressant.

Ref : RECHERCHE TERRE, CRATerre, vol 1, p49 PLAN CONSTRUCTION PARIS 1983

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakoch.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

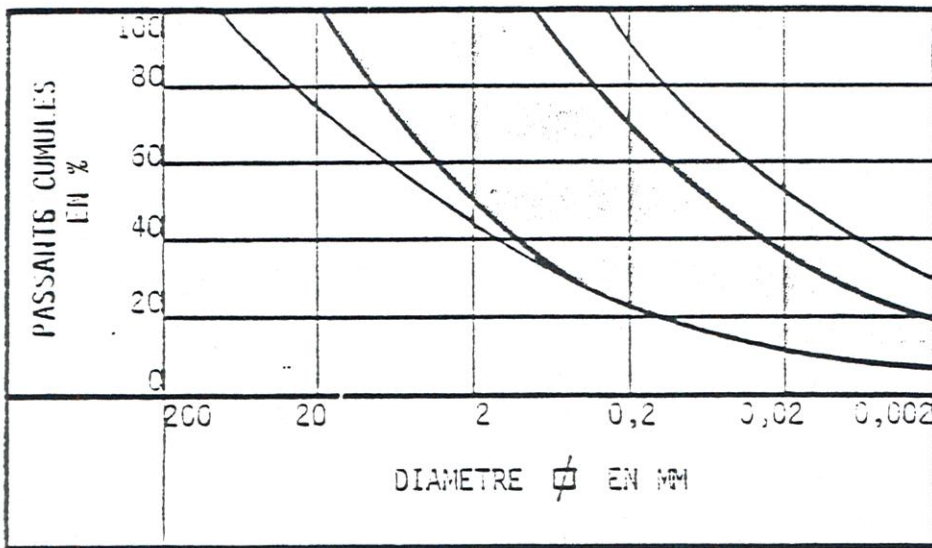
GAMME DES UNITES DE PRODUCTION								BLOCS COMPRESSES DE TERRE STABILISEE			
GENRE D'INSTALLATION (MARQUE)	PROTOTYPE OU PLANS	EPROUVE	STATION FIXE	UNITE MOBILE	PULVERISATEUR	TAMISEUR	MALAXEUR	PRESSE	CAPACITE DE PRODUCTION ANNUELLE (BRIQUES 29,5x14x9)	PRIX SORTIE D'USINE OU F.O.B. H.T. (FF)	SYSTEME
TYPE 1 Cinva Ram Ellson Blockmaster <i>etc...</i>		○	○					○	100.000 à 200.000	1.500 à 3.000	Manuel
TYPE 2 Terstaram CRATERre Peru Pact 315 <i>etc...</i>	○	○	○					○	200.000 à 400.000	6.000 à 25.000	Manuel
TYPE 3 Pact 315 motorisée Semi-Terstamatique <i>etc...</i>	○	○	○					○	600.000 à 800.000	35.000 à 50.000	Mécanique
TYPE 4 MMH 2.000 Halumeca <i>etc...</i>		○		○				○	750.000 à 1.500.000	65.000	Hydraulique Mécanique
TYPE 5 CLU 3.000 Souen Soterem <i>etc...</i>	○	○		○				○	250.000 à 1.000.000	70.000 à 120.000	Hydraulique
TYPE 6 PPB - SARET <i>etc...</i>	○			○	○	○	○	○	500.000 à 1.000.000	400.000 à 600.000	Hydraulique Hypercompression
TYPE 7 TECMOR HCR 3 HCR 5 Acetta <i>etc...</i>		○	○		○	○	○	○	2.500.000 à 8.500.000	450.000 à 900.000	Hydraulique double-compression Compression dynamique
TYPE 8 Latorex L3 Krupp <i>etc...</i>	○	○	○		○	○	○	○	2.500.000 à 9.500.000	3.600.000 à 12.000.000	Hydraulique Hypercompression Double- Compression Comp. Compensée
<p>★ Cette liste n'est pas exhaustive.</p> <p>★ ★ Les chiffres énoncés ne correspondent pas nécessairement exactement à l'installation de cette marque spécifique. La marque est donnée comme moyen d'identification du genre d'installation.</p> <p>★ ★ ★ Les capacités de production sont celles avancées par les producteurs. Elles sont dans la plupart des cas tout à fait théoriques et ne correspondent généralement pas aux productions obtenues sur le terrain, qui souvent n'atteignent que 50 %.</p>											

Ref. : 1982

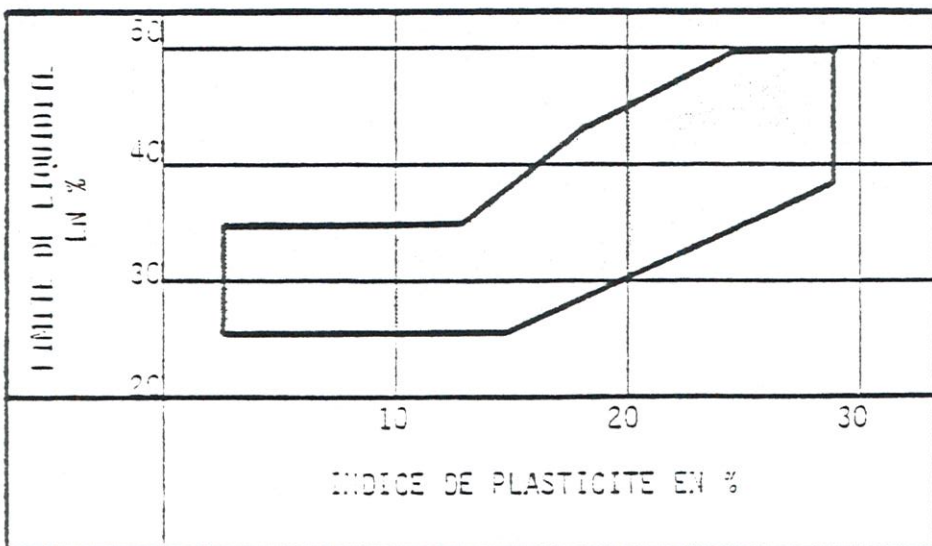
Ref : RECHERCHE TERRE, CRATERre, Vol 1, p 50, PLAN CONSTRUCTION , PARIS 1983

CRITERES DE CONVENANCE DES TERRES

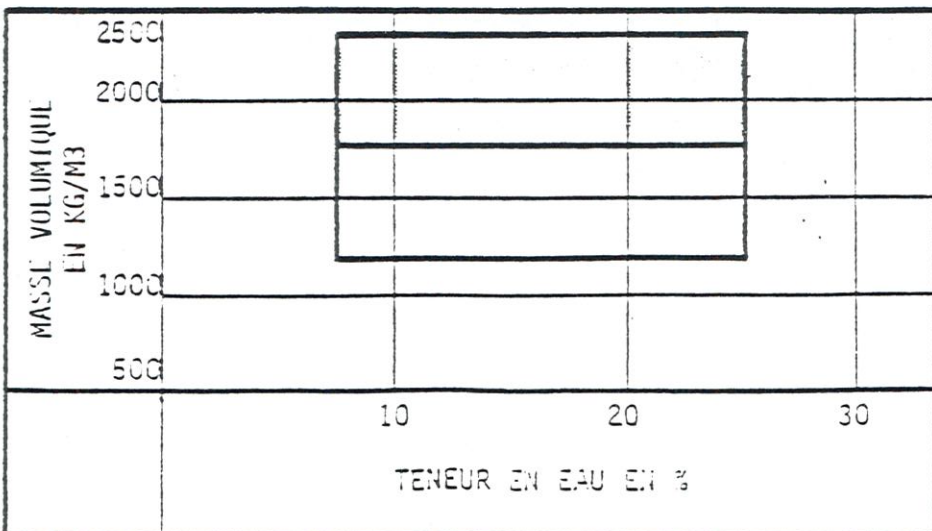
BLOCS COMPRESSES



GRANULARITE



PLASTICITE



COMPACTIBILITE

- **Différents types de presses et d'unités de production** (cf Tableau joint)

d'après CRATerre, Recherche Terre. PLAN-CONSTRUCTION, PARIS, 1983, vol. 1, 198 p, vol 2, 453 p.

- **Presses manuelles légères** (type 1, cf. Tableau joint)

Du type **CINVA-RAM** avec de multiples variantes. Ces presses ont des pressions théoriques de 2 MN/m<sup>2</sup> mais travaillent le plus souvent en pratique à 0,7 MN/m<sup>2</sup>. Ce rapport de performance est très bas et la plupart des presses du genre fournissent des blocs dont la qualité est à la limite de l'acceptable. L'usure prématurée du matériel reste également un problème qui n'a pas été réellement solutionné par les constructeurs.

- **presses manuelles lourdes** (type 2, cf. Tableau joint)

Ces presses (type Landcrete, Terstaram), offrent un seuil de pression supérieur à 2 MN/m<sup>2</sup>. L'usure du matériel est très réduite, voire négligeable et l'entretien facile. Ces presses ont été généralement adaptées de l'industrie briquetière avec une modification du système de transmission qui permet une adaptation des efforts de la course du piston aux efforts résultant de la compression de la terre. L'effort de compactage est réparti sur 2 manipulateurs et le rendement a pu être légèrement augmenté.

- **presses statiques mécaniques** (type 3, cf. Tableau joint)

Ce matériel est du type de celui précédemment décrit mais a fait l'objet d'une motorisation. Les presses de ce type sont relativement légères et relativement intéressantes car elles travaillent à un seuil de rentabilité économique assez bas (**type PACT 315, semi-Terstamatic**). Ces machines munies d'une table fixe ou à plateau rotatif (modèle des Ateliers Expérimentaux Méditerranéens, encore expérimental) assurent une production de qualité constante.

- **presses autonomes lourdes** (type 4, cf. Tableau joint)

Ce type de presses rassemble des modèles de type hydraulique et d'autres de type mécanique. Les presses hydrauliques sont le plus souvent d'un rendement médiocre pour le genre alors que les presses mécaniques sont d'un rendement élevé. Les presses autonomes lourdes sont encombrantes et les rendements annoncés exigent que les opérations en amont de pulvérisation et de malaxage soient mécanisées pour maintenir des seuils de rentabilité convenables. Le fonctionnement de ces presses est plus complexe que celui des presses des gammes précédentes et nécessite des environnements climatiques et techniques compatibles avec leur conception pour garantir leur fiabilité.

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- **unités de production autonome hydrauliques** (type 5, cf. Tableau joint)

Ce sont des machines qui décrivent la tendance de fabrication actuelle. Ces unités de production ne sont pas toujours d'une faisabilité économique convenable, leur utilisation exige que des conditions optimales soient réunies car elles travaillent dans des seuils de rentabilité économique très serrés. Il demeure à ce jour très difficile de constituer des unités de production où les différents types de matériel réunis sont harmonieusement accordés.

- **unités de production mobiles** (type 6, cf. Tableau joint).

Les capacités de production annuelle annoncées pour ce type de matériel tout à fait nouveau serait de l'ordre de 500 000 à 1 000 000 d'unités. Ce matériel emploie généralement l'hypercompression. La faisabilité économique de ces presses exige une étude préalable sérieuse du marché.

- **unités statiques d'encombrement réduit** (type 7, cf. Tableau joint)

Ce type de matériel emploie la compression statique simple ou double ou la pression dynamique. Le catalogue de blocs produits est très large et s'est affranchi du seul bloc de dimensions réduites que produisent les autres types de presses. Ces unités produisent des blocs alvéolaires, des hourdis. Le marché actuellement visé par ce type d'unités de production reste encore limité. La production moyenne horaire annoncée est de l'ordre de 8 000 blocs. Le rendement est donc très important ainsi que l'investissement qui ne semblent pouvoir être amortis que sur des vastes programmes d'équipement immobilier

- **grosses unités de production** (type 8, cf. Tableau joint).

Il s'agit de véritables usines livrées "production en main", disponibles en plusieurs tailles. Il semble n'exister aujourd'hui que 2 ou 3 usines opérationnelles dans le monde. Une très grande discrétion entoure le fonctionnement de ces usines dont la demande semble être d'un maximum de 1 unité par 2 à 3 ans.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

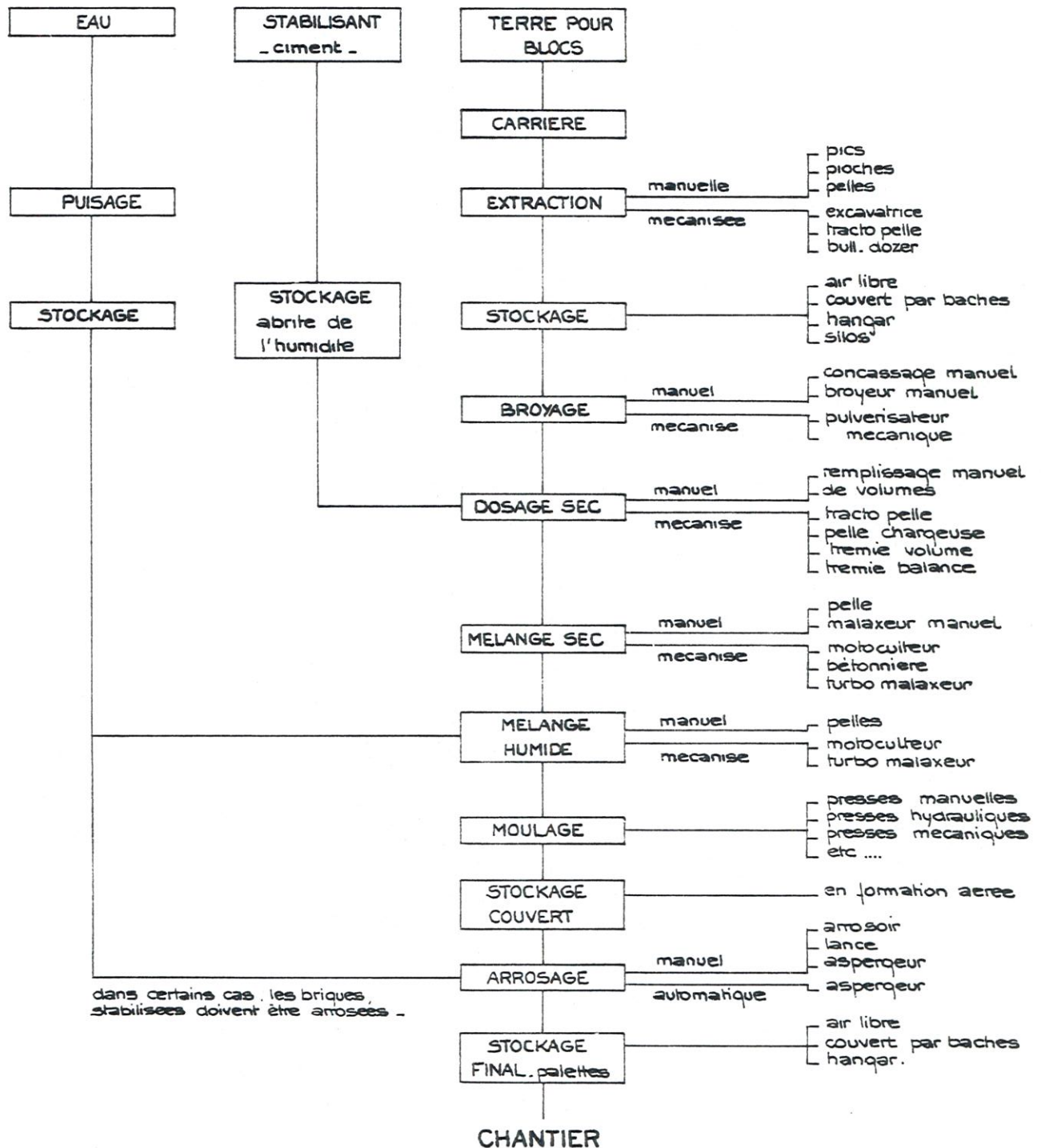
REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# FILIERES TERRE

## LES BLOCS COMPRESSES

BLOCS COMPRESSES STABILISES AU CIMENT : MODE DE PRODUCTION  
 - schéma simplifié des opérations -



AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

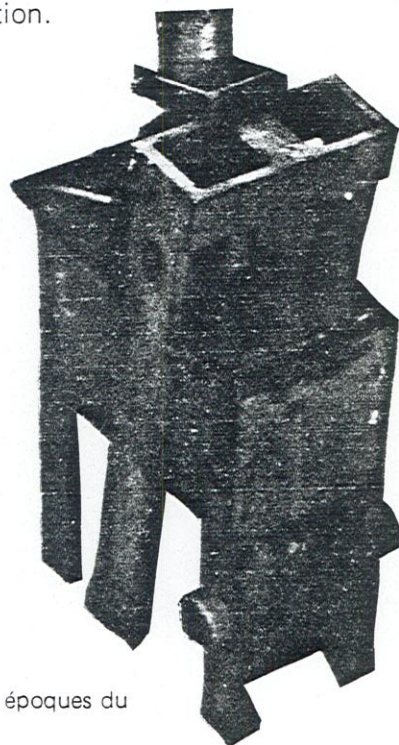
REALISATION CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- **La filière blocs comprimés marocaine**
- Dans le contexte marocain, l'emploi du bloc compressé a précédemment fait l'objet de programmes expérimentaux. L'opération **BTS 62**, réalisée à Marrakech entre 1962 et 1965 employait le bloc compressé pour la construction de 3 000 logements. La production des blocs de terre stabilisés au ciment fut assuré à l'époque par l'emploi des modèles de presse **CINVA-RAM**. Le nombre maximum de presses mises en service fut de 20 ; chaque unité de pressage mobilisait 3 ouvriers. Les rendements moyens furent de l'ordre de 550 blocs par jour pour chaque presse avec une production optimale qui atteint jusqu'à 17 000 blocs/jour pour l'ensemble des postes de production.
- L'opération BTS 62 n'eut pas d'autres prolongements ni l'emploi du bloc compressé.
- La Délégation Régionale de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire de Marrakech a conservé quelques unes de ces presses CINVA-RAM qui ont servi à l'opération BTS 62. L'état précaire et l'usure de ce matériel aujourd'hui visible exclut toute possibilité de réutilisation. Ce type de presse est par ailleurs inadapté aux exigences actuelles de qualité recherchée pour les matériaux dans le cadre de la prochaine opération.



Le modèle de presse le plus populaire des premières époques du bloc compressé : la **CINVA-RAM**

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

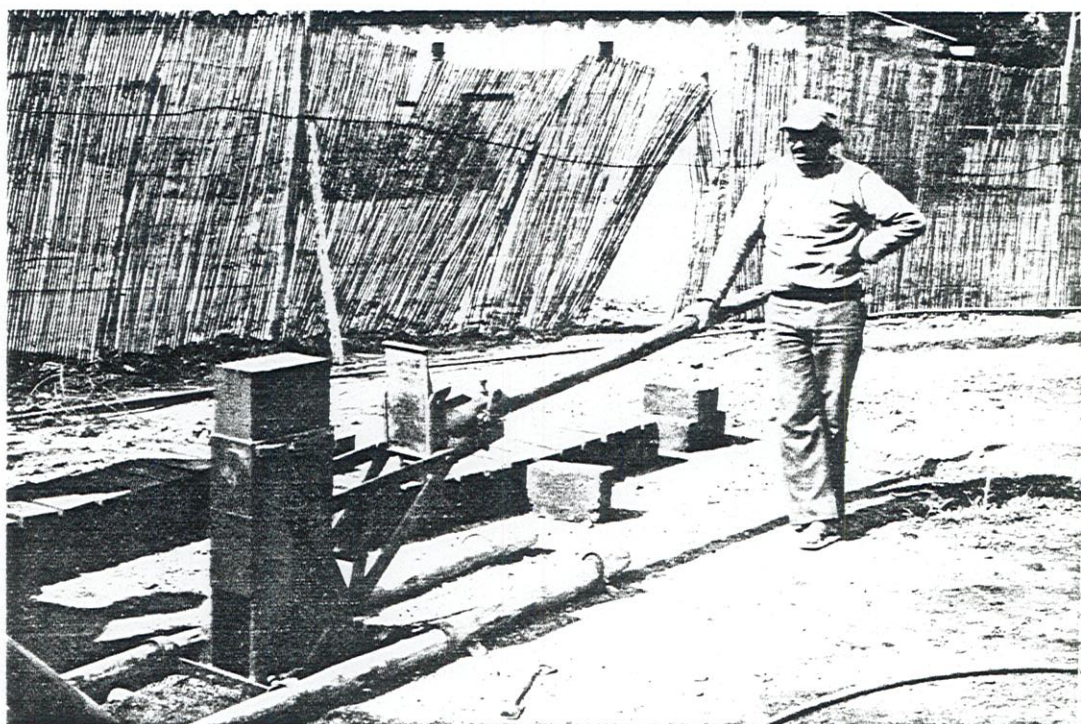
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- On remarque toutefois qu'un nouveau modèle de presse manuelle légère a été récemment conçu à Marrakech par Monsieur Elie Mouyal (1). Cette presse dénommée "**AIT-OURIR**" est en cours d'expérimentation et actuellement testée sur un chantier réalisé par son concepteur dans la palmeraie de Marrakech. Son emploi dans le cadre de l'opération Marrakech 83 n'est envisageable que dans la mesure où le constructeur aura trouvé d'ici là des solutions quant à l'amélioration de la durabilité du matériel.



(1) Elie MOUYAL  
B.P. 744 - MARRAKECH - Royaume du MAROC

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

D'APRES DOCUMENTS © 1983  
de M. E. MOUYAL





1. Remplissage à l'aide du doseur



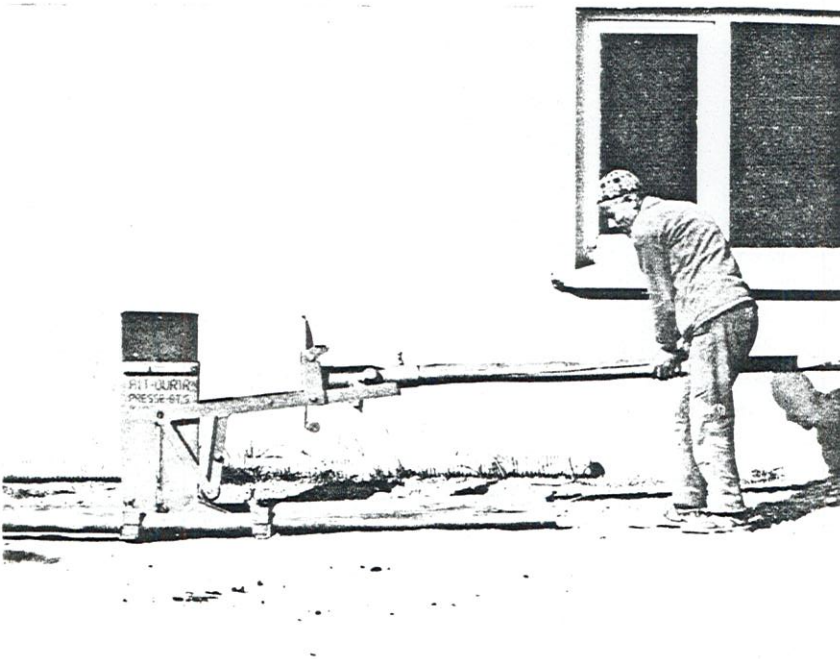
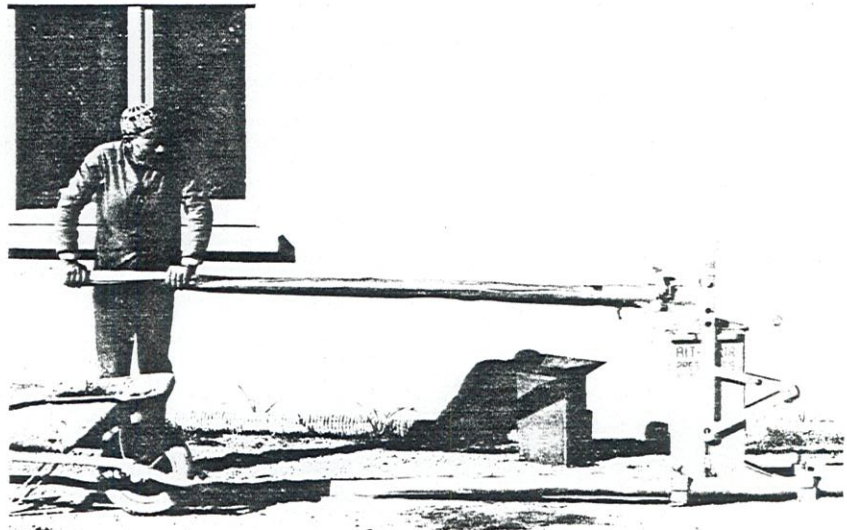
2. Rabattement du couvercle et début compression.



3. Compression

FICHE DESCRIPTIVE

- Fermeture, compression, décompression, éjection en continu
- Poids de la presse . . . . . 90 kg
- Accessoires. 2 doseurs, 1 tamis
- Moment de compression maxi . . . . . 3000 kg x cm
- Taux de compression . . . . . 1.75
- Profondeur du Moule . . . . . 35 cm
- Course maxi . . . . . 15 cm
- Bloc 30 x 14,5 x 20 . . . . . 9 dm<sup>3</sup>
- Nb de blocs/jour . . . . . 450
- Ouvriers Presse . . . . . 2
- Volume compacté par jour . . . . . 4.05 m<sup>3</sup>
- Entretien. Roulements et graisseurs



4. Ejection du bloc

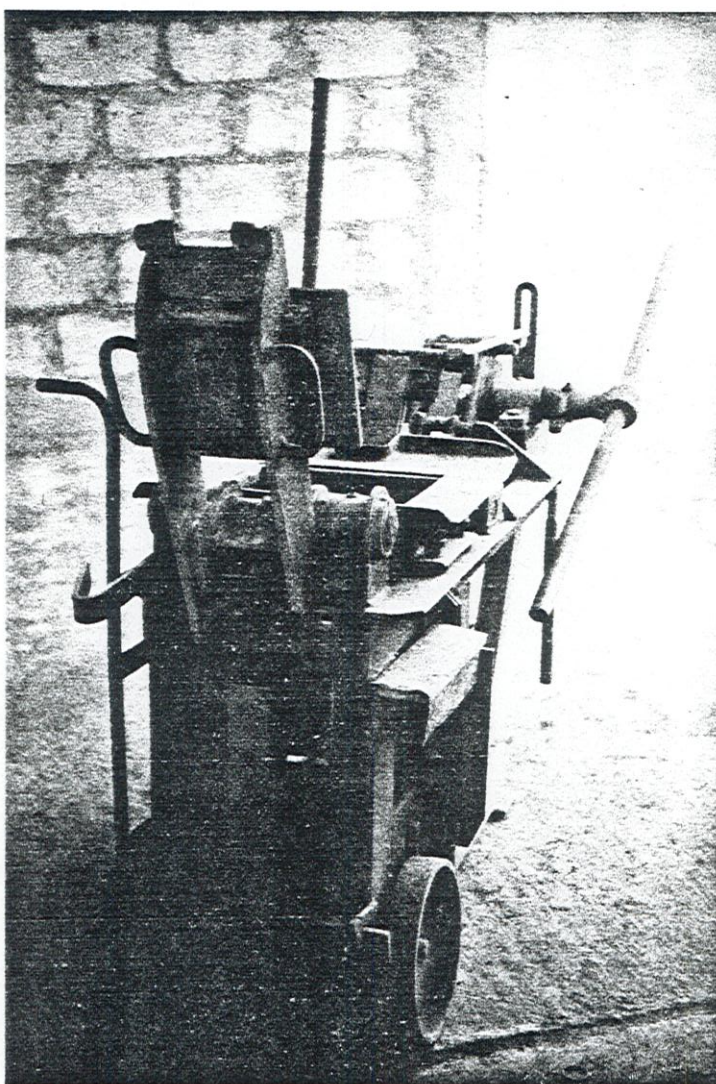


D'APRES DOCUMENTS  
de M. E. MOUYAL

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- Un ancien type de presse, le modèle "super madelon" repris par Landcrete est également visible dans les locaux de la D.R.H.A.T. Ce type de presse manuelle lourde (type 2 précédemment décrit), adapté des presses de l'industrie brique-tière est tout à fait fiable et travaille dans des seuils de rentabilité économique intéressant. En son état actuel, la presse Landcrete visible à la D.R.H.A.T. n'est pas utilisable.



La presse LANDCRETE, vue dans les locaux de la D.R.H.A.T.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

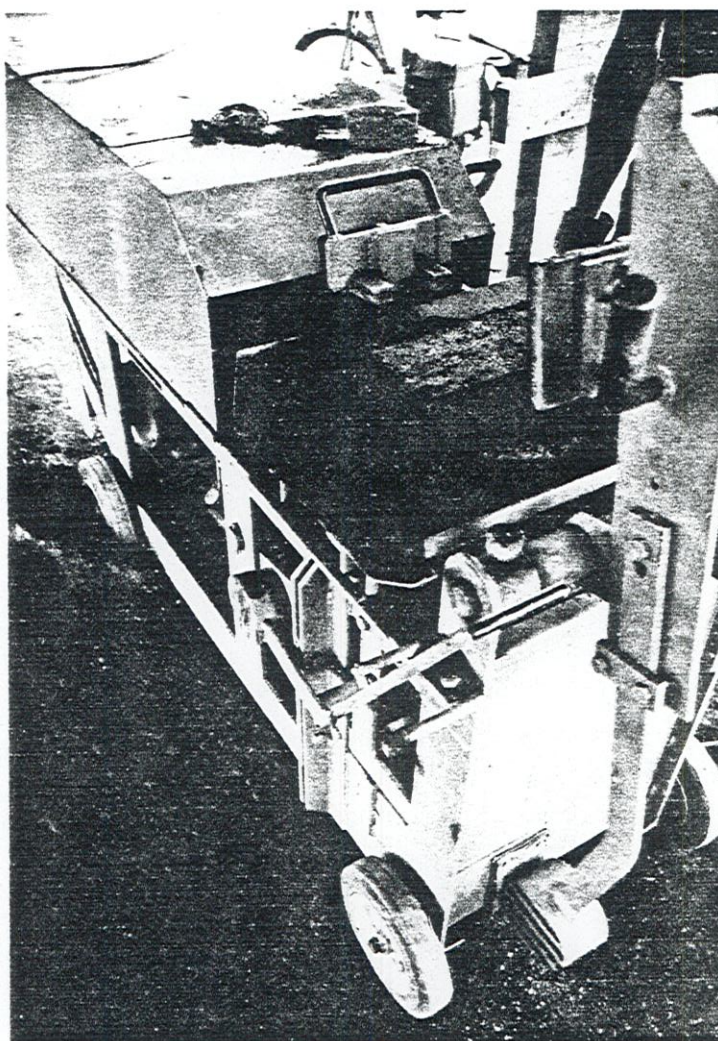
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- Le modèle "super madelon" a donné d'autres modèles dérivés. La presse **TERSTARAM** aujourd'hui parfaitement éprouvée pour avoir été utilisée dans le cadre de nombreuses opérations peut être utilisée lors de la prochaine opération. Le constructeur de cette presse a récemment mis au point un modèle de type statique mécanisé, la **SEMI-TERSTAMATIC**. Les deux modèles sont fabriqués et diffusés par le constructeur belge Fernand Plaatbrood (2).



La semi - TERSTAMATIC

(2) Fernand PLATBROOD  
12, Allée des Rossignols - 6070 CHATELET - BELGIQUE

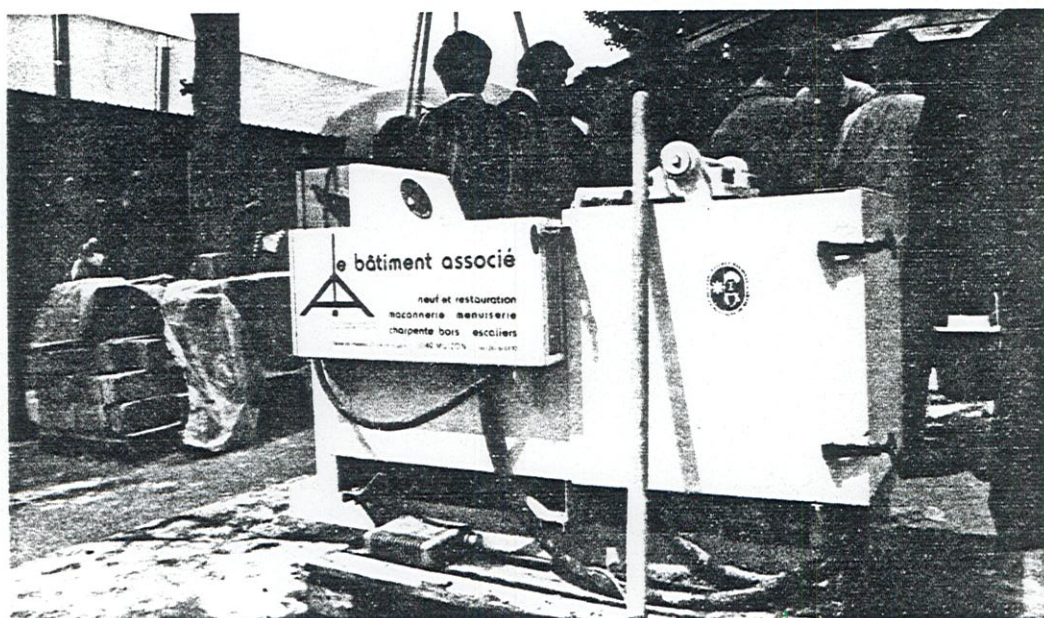
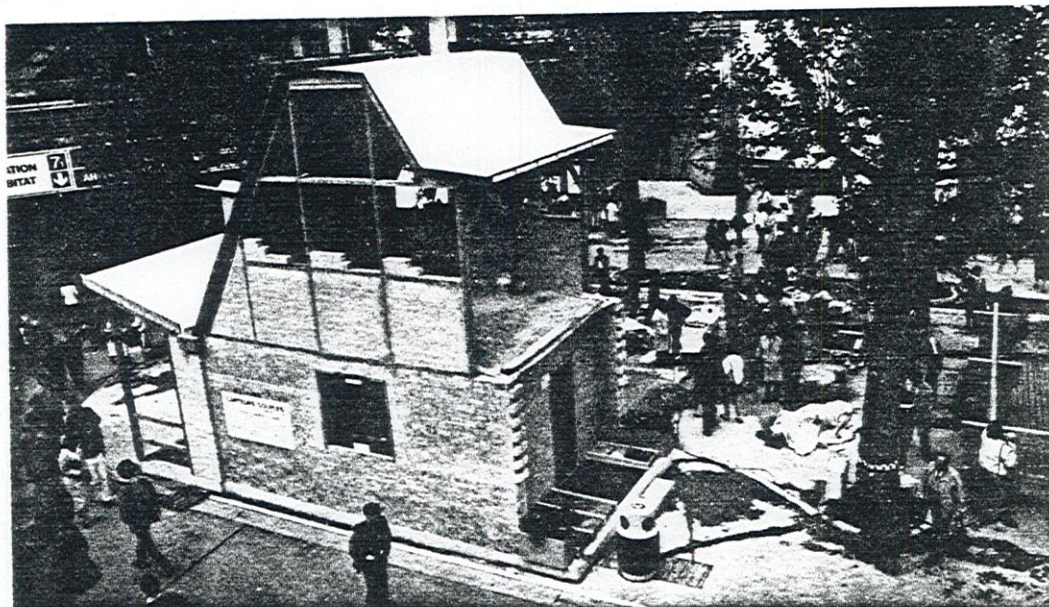
## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- On note l'existence d'une nouvelle presse française, de type hydraulique, fabriquée par **LA MÉCANIQUE RÉGIONALE**, 42, Chemin de Reims, 51140 MUIZON.



- Cette presse, actuellement expérimentale a fait l'objet d'une démonstration de production de blocs de terre compressés (terre de champagne provenant d'un calcaire altéré), associée à la construction d'un prototype dans le cadre de la Foire de Paris, 1983.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

D'APRES DOCUMENTS  
MÉCANIQUE RÉGIONALE

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- **ATELIER ST-ELOI**, Mr AUTISSIER, B.P. 12, 31771 COLOMIERS ; presse semi-automatique pour blocs comprimés, travaillant actuellement dans la région de Toulouse.

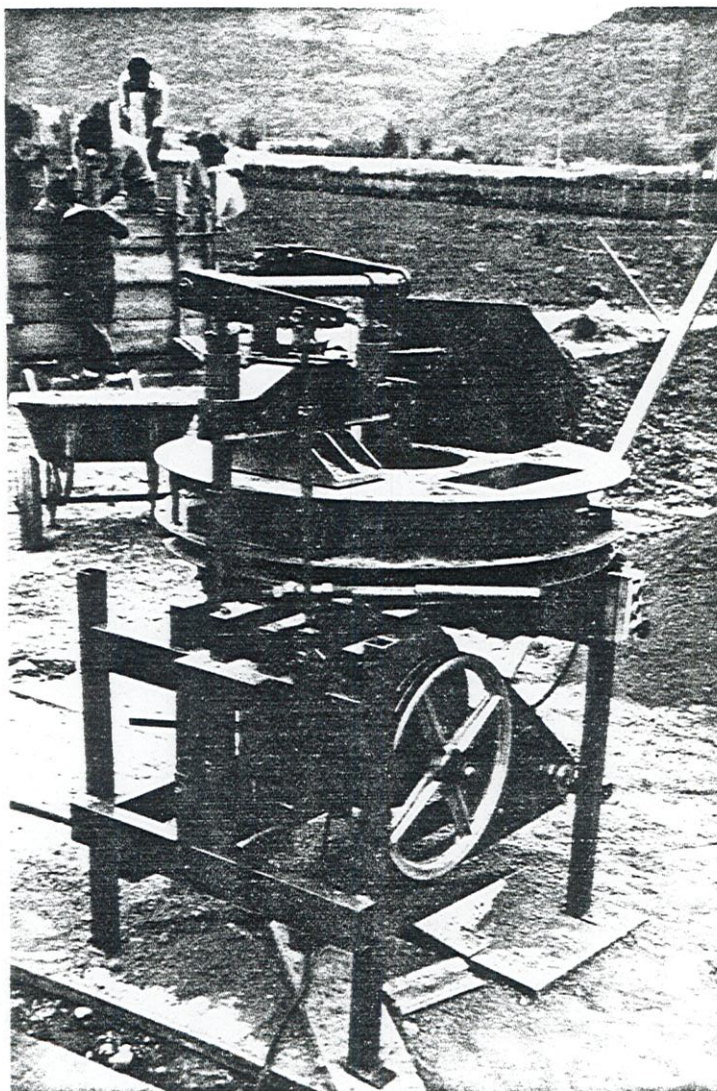
### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

La presse à plateau rotatif des **CHANTIERS EXPÉRIMENTAUX  
MÉDITERRANÉENS**



ATELIERS EXPÉRIMENTAUX MEDITERRANÉENS  
Quartier d'Entraigues - 05200 EMBRUN - FRANCE

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

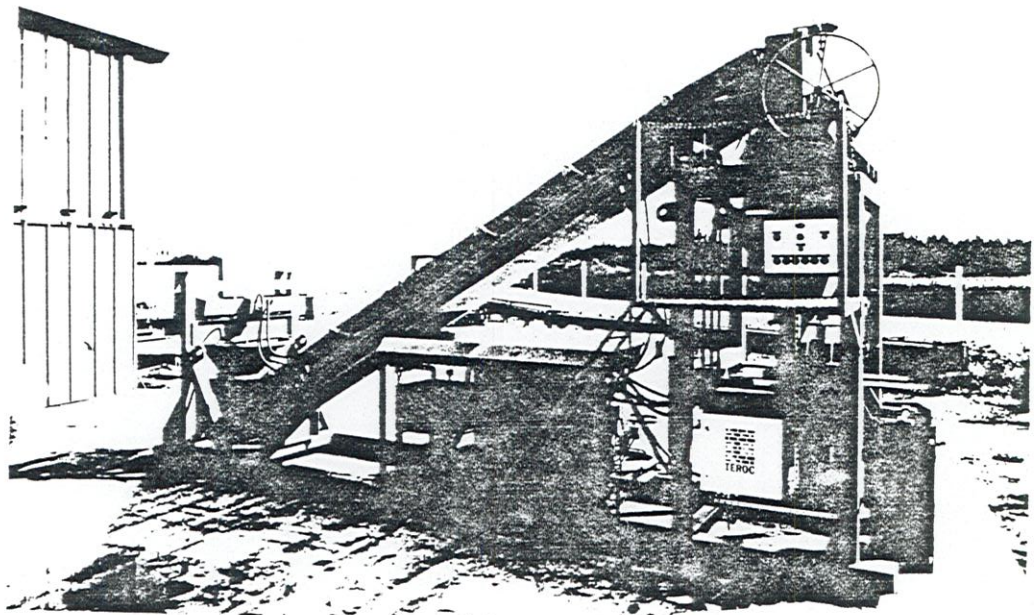
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

DOCUMENTS ATELIERS  
EXPÉRIMENTAUX MÉDITERRANÉENS

## FILIERES TERRE

### LES BLOCS COMPRESSES

- On consigne également ici le fait qu'une unité de production mobile récemment mise au point par le groupe français **Saret-PPB** (3) est diffusé au Maroc. Ce matériel, actuellement expérimental peut faire l'objet d'une expérimentation complémentaire dans le cadre de l'opération Marrakech 83 (voir à cet effet les conditions du constructeur et vérifier la faisabilité économique du matériel par rapport au marché proposé).



SARET P.P.B.  
B.P. 102 - 84130 LE PONTET - FRANCE

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage: ERAC de Tensift.

DOCUMENT  
SARET PPB



**adobe**



#### 2.3. ADOBE

- **Présentation générale de la filière**

- La brique d'adobe est sans doute l'un des plus anciens matériaux de construction en terre utilisés par l'homme. Son emploi est encore quasiment universel.
- L'adobe est façonnée à la main ou moulée dans des formes en bois ou en métal. La conception des moules est très diverse et va du compartiment unique ou double, jusqu'aux compartiments multiples (sortes d'échelles en bois ou moules métalliques rectangulaires de 20 à 25 casiers). Le bloc d'adobe qui résulte du façonnage manuel ou du moulage est une masse de terre compacte de forme parallélépipédique ou plus ou moins cubique. Les adobes fraîchement moulés sèchent pendant quelques jours, sous le soleil, ou sur des aires abritées et aérées, selon les conditions climatiques des régions de production.
- La terre d'adobe est généralement employée à l'état liquide. Très tôt, les hommes ont rajouté des fibres végétales (paille ou autres) à cette terre liquide, tant pour faciliter son corroyage lors de la préparation du matériau précédant le moulage (pétrissage, malaxage), que pour réduire son retrait hydraulique au séchage. Les malaxeurs destinés à la préparation de la terre liquide existent en nombre sur le marché ; généralement à fonctionnement mécanique, ce matériel ne pose aucun problème majeur.
- Matériau millénaire, l'adobe n'a finalement pas connu d'améliorations extraordinaires. Le façonnage manuel classique des adobes est encore le mode de production le plus fréquemment employé en maintes régions du globe. Les évolutions les plus récentes ont développé une mécanisation des différents postes de production et utilisent des engins qui vont du scrapper (extraction) à la pelle chargeuse déversant la boue liquide dans de nombreux moules alignés les uns à la suite des autres, en passant par des machines "pondeuses" munies de trémies hydrauliques et jusqu'à l'usine dotée d'une station de préparation fixe (criblage, stockage, malaxage) et d'engins mobiles motorisés qui produisent jusqu'à 30 000 adobes par jour.
- Les formes connues des briques d'adobe n'ont guère évolué et les variations que l'on peut constater affectent surtout le poids et les dimensions des blocs.

## FILIERES TERRE

### ADOBE

- Les évolutions les plus récentes concernent le développement d'une production d'adobes stabilisées avec l'emploi de dérivés de la chimie du pétrole (le bitudobe aux U.S.A. p.e.) et la conception d'adobes adaptées à la construction antisismique (adaptation de chaînages verticaux grâce à un système de trous). On a pu également observer une évolution du traitement de surface des adobes pour des raisons principalement esthétiques.
- Les principaux avantages de la brique d'adobe sont la flexibilité du mode de production et la simplicité de mise en œuvre. Ainsi, l'adobe restera sans doute l'un des matériaux dominants de la construction en terre dans les années à venir. Ce matériau demeure toujours adapté à de nombreux contextes géologiques (terres alluviales limono-sableuses, terres sablo-argileuses des régions semi-désertiques), climatiques (climats chauds et secs, semi-désertiques, tropicaux à saison sèche dominante, zones tempérées), économiques et culturelles.
- **Adobe : modes de production**
- La terre utilisée pour la production d'adobes, de nature sablo-argileuse ou limono-sableuse, très plastique, est débarrassée de ses gros cailloux et granulats. L'opération peut être un simple épierrement manuel de la terre ou un criblage à l'aide de tamis inclinés ou mécaniquement à l'aide de cribles vibrants ou rotatifs.
- Le matériau épiermé ou criblé est ensuite ajouté d'eau jusqu'à faire une boue liquide. La paille est ajoutée lors de cette préparation précédant le moulage. Suivant le mode de production, artisanal ou mécanisé, le mélange est pétri à pied d'homme ou par des bêtes de somme, remué à l'aide de pelles, de houes ou malaxé mécaniquement (malaxeurs linéaires de tous types, bétonnières munies de pales mobiles, etc...). Lorsque les adobes sont stabilisées au bitume, l'ajout du stabilisant se fait directement dans le malaxeur, dans les proportions requises. Le mélange de boue mêlée de paille ou stabilisé est ensuite déversé dans les moules.
- Le moulage artisanal produit le plus souvent les adobes une par une ou deux par deux, parfois en plus grand nombre (système des moules "échelle", p.e.). Le moulage mécanisé emploie des engins pour transporter la boue liquide depuis l'aire de malaxage vers l'aire de moulage ; des pelles chargeuses ou de petits tracteurs munis de godets déversent le matériau dans les moules alignés ou dans les mouleuses mobiles motorisées. Les blocs produits sèchent tout d'abord à plat puis sont disposés sur le chant en formation aérée. Les adobes sont ensuite stockées en piles ou sur palettes puis directement utilisées pour la construction (en cas de production sur le site) ou transportées par camion vers les chantiers.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

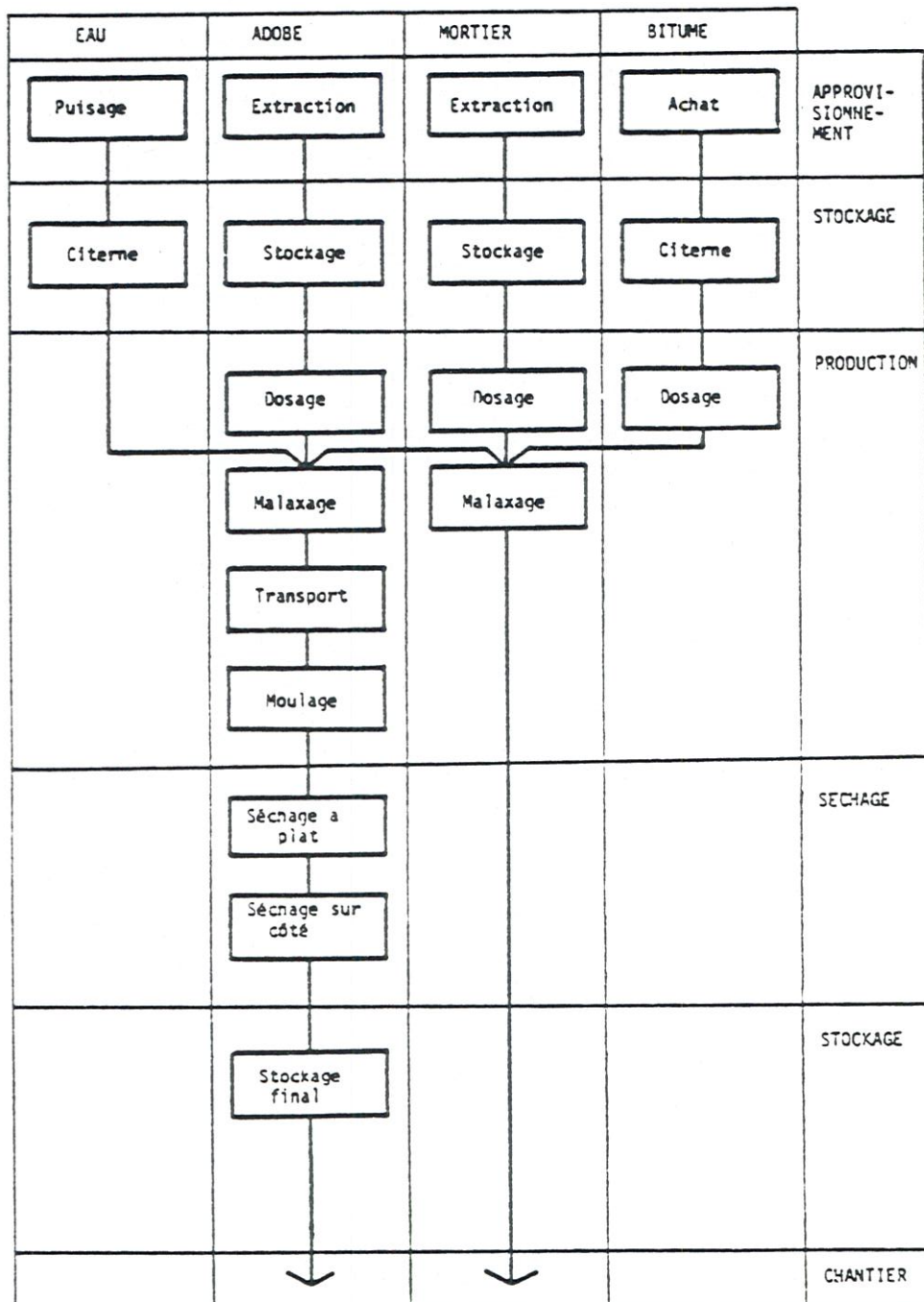
REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

## ADOBE

Schéma de production pour des briques crues séchées au soleil ( Adobe ) stabilisées au bitume.



Ref: VILLAGE TERRE AGRA/ PLAN CONSTRUCTION. PARIS 1982

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## FILIERES TERRE

### ADOBE

#### PRODUCTION TRADITIONNELLE DES ADOBES



Vallée de l'Ourika



Au Sud de Zagora

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : CRATerre © 1983

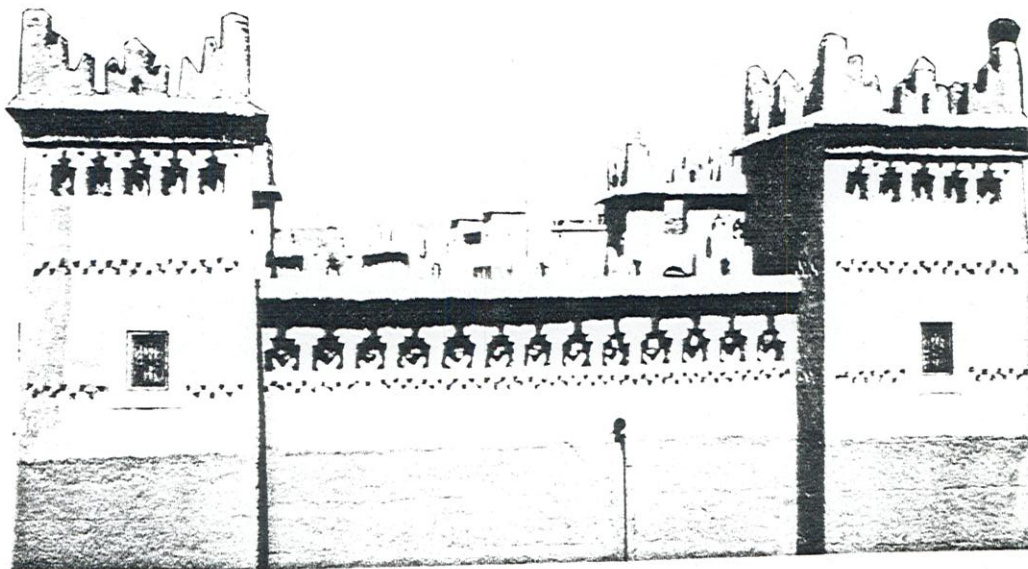
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

GAITerre

## FILIERES TERRE

### ADOBE

- **La filière adobe marocaine** (d'après enquêtes in situ)
- L'adobe est un matériau abondamment employé dans la construction en terre marocaine. On peut en effet observer que les étages des habitations rurales ou les parties hautes des murs des ksours, des greniers, sont souvent bâties en adobe.



- Les adobes sont traditionnellement façonnées dans de simples moules en bois à deux alvéoles. La terre utilisée, de nature argilo-sableuse en limono-sableuse est prélevée dans le proche voisinage des constructions. Cette terre est ajoutée de paille employée telle qu'elle, provient des aires de battage ; le mélange est abondamment mouillé jusqu'à obtenir une consistance très plastique puis pétri, corroyé à l'aide de houes ou de rabots (amadir).
- Le mélange pâteux, voire boueux, est parfois déposé sur un lit de paille afin qu'il n'adhère pas trop au sol. Cette étape de corroyage de la terre et de la paille est souvent réalisée la veille du moulage ; la terre est à nouveau mouillée le surlendemain juste avant la production des adobes. Les moules en bois sont trempés dans l'eau puis remplis du mélange pâteux qui est tassé à la main et rapidement lissé. Les adobes sont instantanément démoulées et séchent au grand air, sous le soleil, pendant quatre à cinq jours.
- La production quotidienne varie suivant le nombre de personnes affectées à la tâche et suivant l'importance de l'aire de production disponible. En zone rurale, la production des adobes est souvent fonction de la progression du chantier. Néanmoins, la littérature consigne des rendements de l'ordre de 800 à 1000 briques/jour pour 3 ouvriers.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

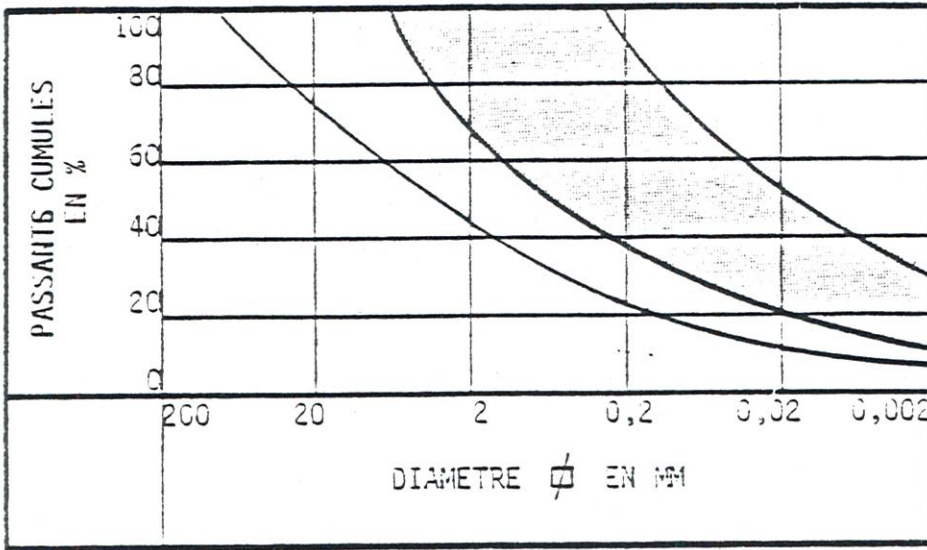
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

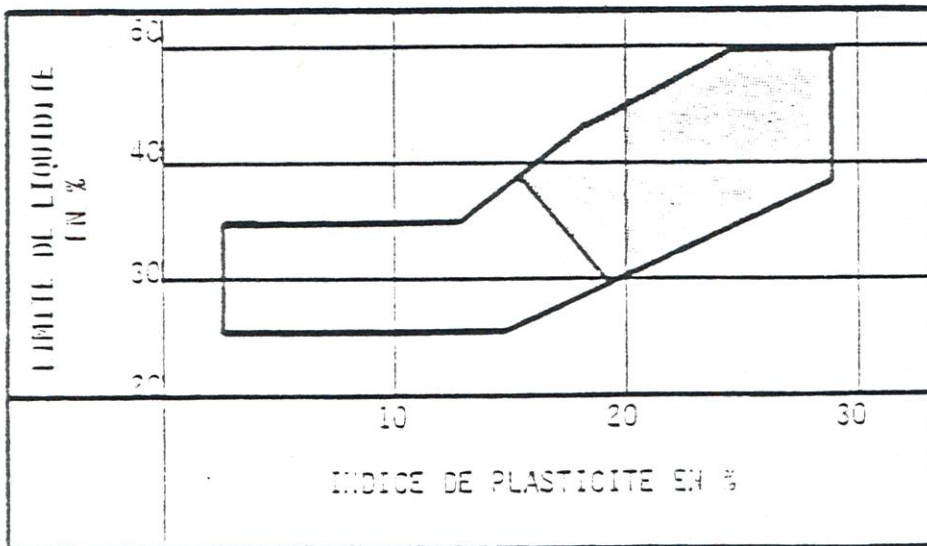
COLLABORATION : **GAITerre**

CRITERES DE CONVENANCE DES TERRES

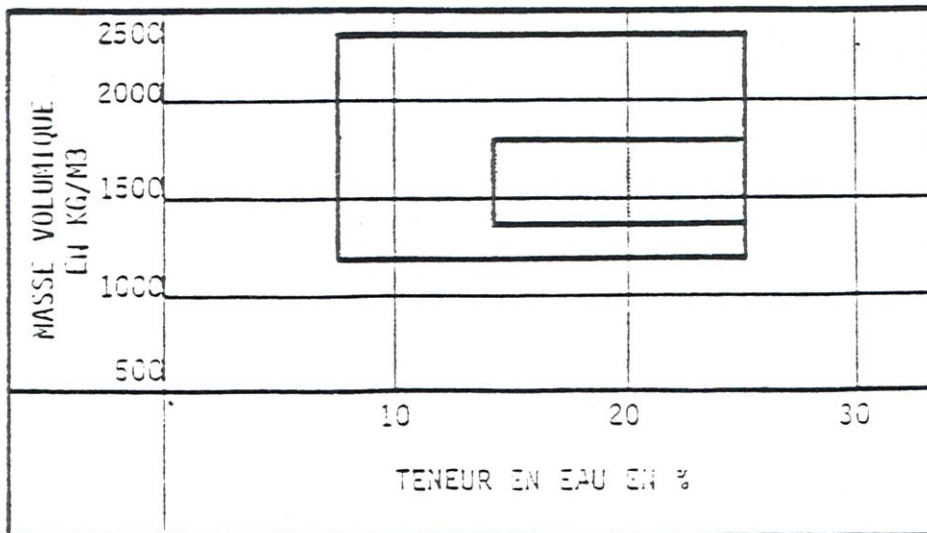
ADOBE



GRANULARITE



PLASTICITE



(COMPACTIBILITE)

## FILIERES TERRE

### ADOBE

#### PRODUCTION SEMI ARTISANALES DES ADOBES



Séchage des briques d'adobe, à plat (1ère phase) et sur le chant (2ème phase)



Nettoyage et séchage des moules avant reprise de la production.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## FILIERES TERRE

### ADOBE

- Dans son ouvrage "**Architectures et Habitats du Dadès**", D. Jacques-Meunier précise quelques dimensions des adobes traditionnelles ; celles-ci sont variables suivant que le matériau est destiné à la construction des murs ou au décor. Des observations réalisées dans la région de Skoura par l'auteur restituent des mesures de l'ordre de 30 cm de long, 15 cm de large et 8 cm d'épaisseur pour des adobes de murs alors que les adobes de décoration n'ont que 24 cm, voire 22 cm de long pour 11 à 12 cm de large et 6 à 8 cm d'épaisseur.
- Des observations récentes menées sur la région de Marrakech (Douar Lmarja, chantier dans la palmeraie) montrent que les dimensions actuelles des adobes sont différentes. On remarque des blocs de 40 cm de long pour 18 cm de large et 8 à 10 cm d'épaisseur. Dans la palmeraie, un constructeur emploie des adobes plus massives de 50 x 20 x 20 et des adobes cubiques de 20 x 20 x 20.
- **Enquêtes sur les rendements et les coûts**  
(Les valeurs qui sont données résultent d'enquêtes réalisées en avril 1983 ; elles ne peuvent servir de références statistiques pour le calcul de métrés.
- Le rendement de production journalière moyen, pour 1 ouvrier affecté au moulage des adobes à l'aide d'un moule en bois à 2 alvéoles et travaillant dans des conditions optimales est de l'ordre de 300 adobes/jour. La journée correspond dans ce cas à 8 heures de travail. Les rendements peuvent considérablement varier selon que le travail est rémunéré à la tâche, à la journée, au quota précis de briques moulées par jour, ou à l'unité.



#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

COLLABORATION : **GAITerre**



## FILIERES TERRE

### ADOBE

- chantier Ch. Berthéas, palmeraie de Marrakech (Maison Vreeland)

- coût matériau

– le m <sup>3</sup> de terre excavée et laissée sur place (sur la base de 250 m <sup>3</sup> pour 3000 DHS)	12 DHS
– coût de la main-d'œuvre par brique moulée	0,30 DH
– rendements journaliers par ouvrier : 70 à 100 adobes/jour	
– coût de la paille	0,55 DH/kg
– coût de la brique 0,50 x 0,20 x 0,20	0,60 DH
– coût de la brique 0,20 x 0,20 x 0,20	0,40 DH

- coût construction

– coût main-d'œuvre (charges sociales incluses)	
– 1 maâlem, 1 journée	40 DHS
– 1 ouvrier, 1 journée	17,50 DHS
– rendement de pose	
– pour 1 mur de 70 cm d'épaisseur composé de 2 voiles d'adobe avec vide d'air	3,60 m <sup>2</sup> /jour
– nombre de blocs d'adobe 0,50 x 0,20 x 0,20 pour 1 m <sup>2</sup> construit, y compris 1,5 brique/m <sup>2</sup> en boutisse pour harpage du double mur	21,5 briques/m <sup>2</sup>
– coût matériau au m <sup>2</sup> de double mur construit	13 DHS
– coût main-d'œuvre matériau pour 1 m <sup>2</sup> de mur	19,50 DHS/m <sup>2</sup>

Réf : d'après enquête GAIterre, avril 1983

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE GAIterre  
CHANTIER C. BERTHEAS

© 1983

## FILIERES TERRE

### ADOBE

- **chantier Douar Lmarja** (enquête Mr Madihy, technicien de l'ERAC)

- **coût matériau**

– dimensions des blocs (L x l x e)	
– 0,40 x 0,18 x 0,10	
– 0,40 x 0,18 x 0,08	
– production journalière pour 1 ouvrier ( 8 heures)	300 adobes/jour
– coût de la terre pour 300 adobes	23,00 DHS
– prix de la journée de travail (charges sociales incluses)	25,00 DHS
– coût de la paille : 0,55 DH/kg	
– 1 sac de 90 kg pour 300 adobes	49,50 DHS
– coût pour 300 adobes	97,50 DHS
– coût unitaire d'une adobe	0,32 <sup>s</sup> DH

- **coût construction**

– rendement à la pose pour un mur de 0,40 d'épaisseur en simple appareil	15 m <sup>2</sup> /jour
– coût main d'œuvre	
– 1 maâlem, 1 journée	35,00 DHS
– 1 ouvrier, 1 journée	25,00 DHS
– nombre d'adobes au m <sup>2</sup> : 14 unités	
– coût matériau seul au m <sup>2</sup>	4,55 DHS/m <sup>2</sup>
– coût mortier pour 15 m <sup>2</sup> construit	40,00 DHS
– coût pour 15 m <sup>2</sup> de mur de 0,40 non enduit	104,55 DHS
– coût pour 1 m <sup>2</sup> de mur non enduit	6,97 DHS
– coût pour 1 m <sup>2</sup> d'enduit terre paille	3,58 DHS
– coût pour 1 m <sup>2</sup> de mur enduit	10,55 DHS/m <sup>2</sup>

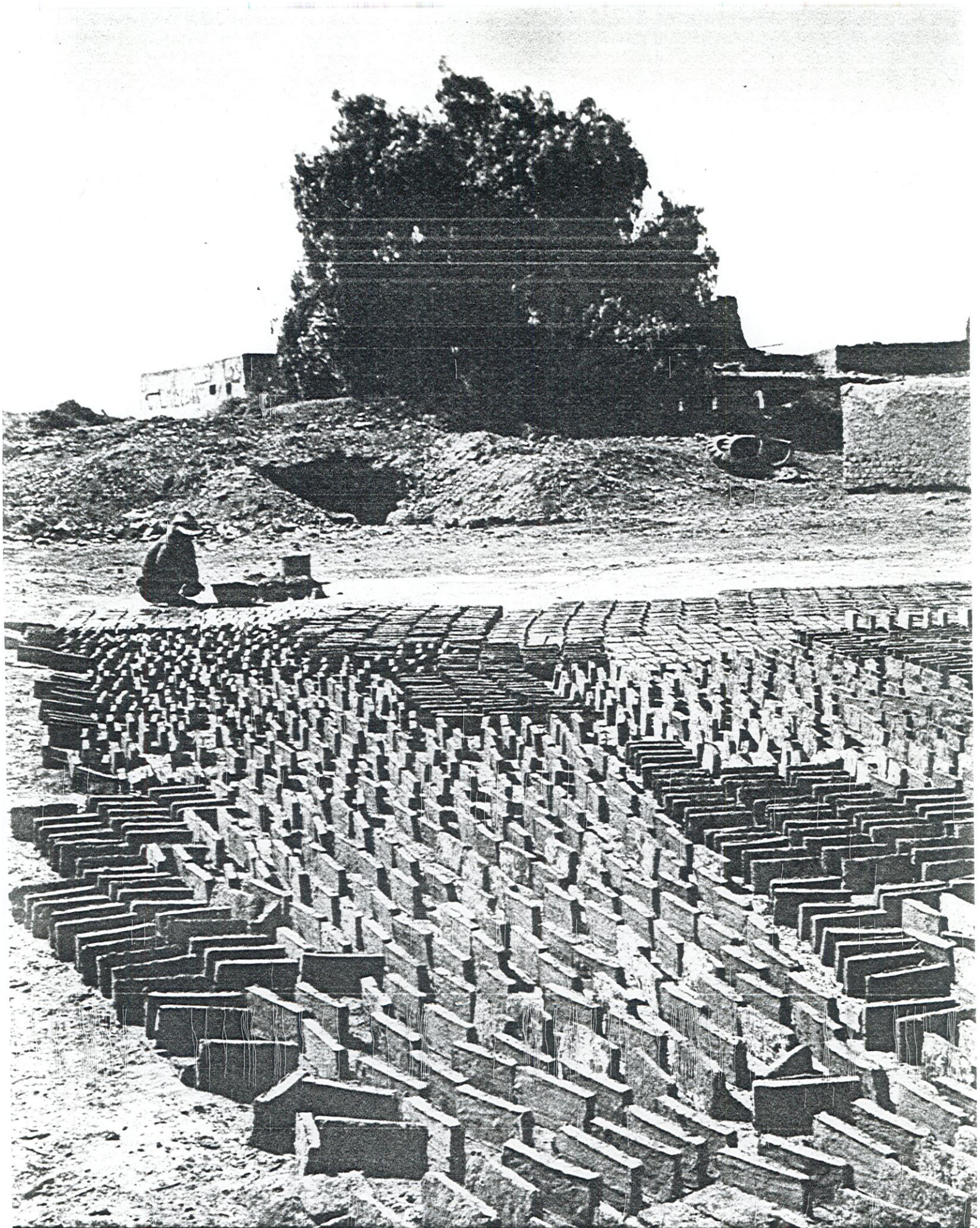
#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION :

© 1983

**GAITerre**



**briques cuites + terre**

#### 2.4. BRIQUE CUITE + TERRE

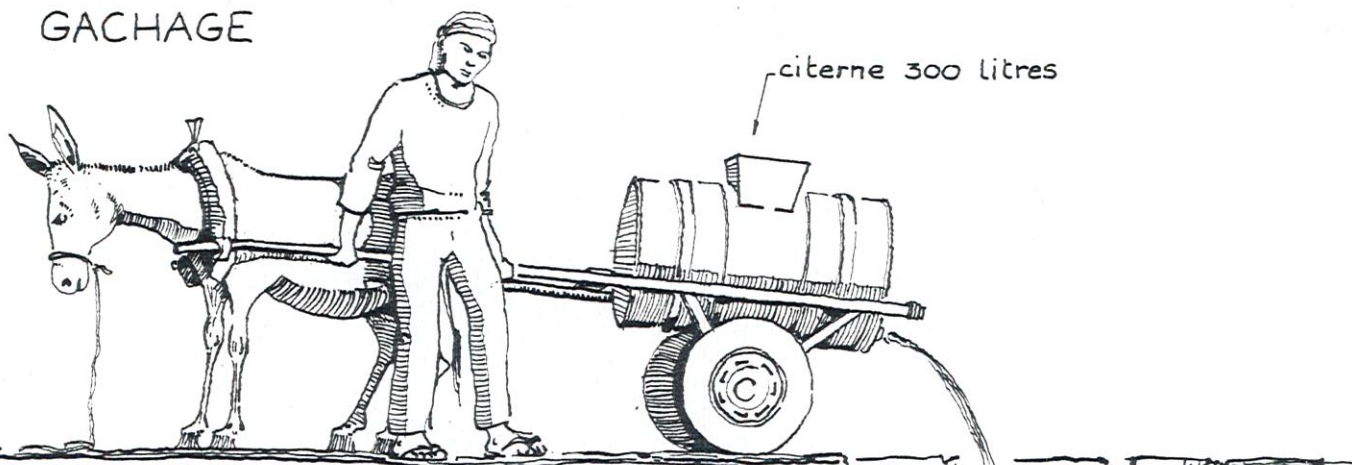
- **Présentation générale de la filière**

- La brique cuite est semble-t-il fabriquée depuis fort longtemps au Maroc et son emploi peut être facilement observé sur l'architecture citadine et rurale. La typologie des édifices en briques cuites bâties au mortier de terre est très large et couvre tout autant les plus simples comme les plus riches demeures. Ce mode de construction est utilisé pour l'élévation des murs ou pour la réalisation d'éléments particuliers des architectures tels que la modénature en bandeaux et corniches, le renforcement de angles de murs, les soubassements, la protection haute des murs, les encadrements de baies (linteaux, arcs, jambages, appuis). La brique cuite bâtie au mortier de terre est également un élément de décor des façades qui présentent une grande variété d'appareils.
- Le mortier de construction est de la terre stabilisée à la chaux. Le joint de mortier est apparent, brut ou lissé et présente la particularité d'être d'une épaisseur égale à la brique.
- Il semble que la technique de construction en brique cuite + terre, encore très employée à la fin du siècle dernier, soit peu à peu tombée en désuétude. L'état actuel des observations ne permet pas de préciser les raisons de cet abandon. Il semble néanmoins que cette technique ne soit plus garante d'une réelle économie dans les conditions actuelles de la production du bâtiment. La brique cuite bâtie au mortier de terre est aujourd'hui réservée à quelques ouvrages de parement et de décor ou au traitement de détail des éléments architectoniques dont le registre est des plus varié.
- Les briqueteries artisanales travaillent dans des conditions économiques relativement serrées mais les charges et les investissements limités (bas salaires, récupération de déchets comme combustible, opérations non mécanisées) ainsi que les possibilités actuelles du marché, ne semblent pas réduire la viabilité de leur fonctionnement dans le moyen terme.
- Le catalogue des briques cuites aujourd'hui produites dans la région de Marrakech est assez large. Les modes de production vont de l'artisanal (petite brique de parement et de construction) à l'industriel (briques de construction perforées ou alvéolaires multiples). Le registre des coûts matériaux est assez directement lié à la variété des échelles de production et des seuils de rentabilité des entreprises en fonction des investissements de fonctionnement (niveau de mécanisation, coût de l'énergie de cuisson, etc...).

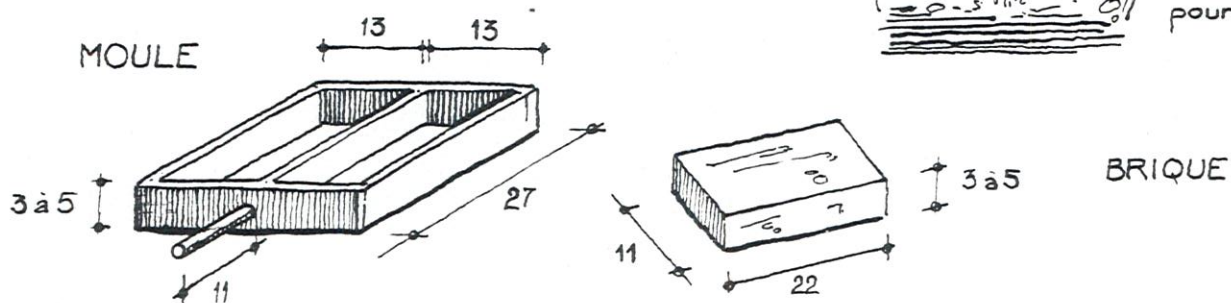
# FILIERES TERRE

## BRIQUES CUITES + TERRE

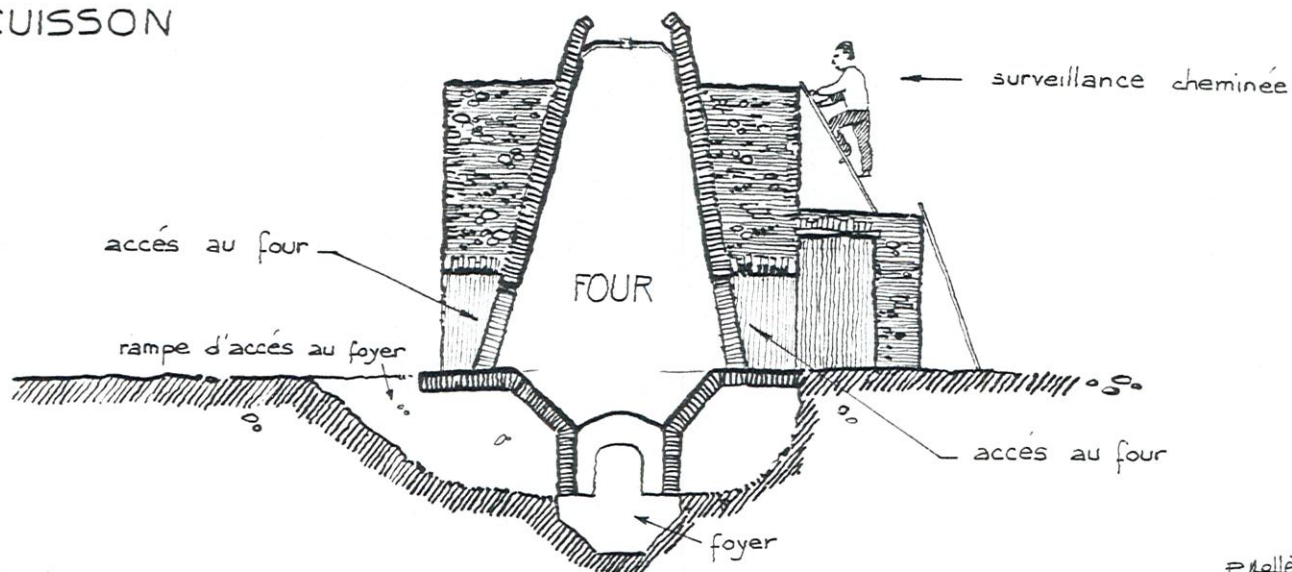
### GACHAGE



### MOULAGE



### CUISSON



AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION CRATerre © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

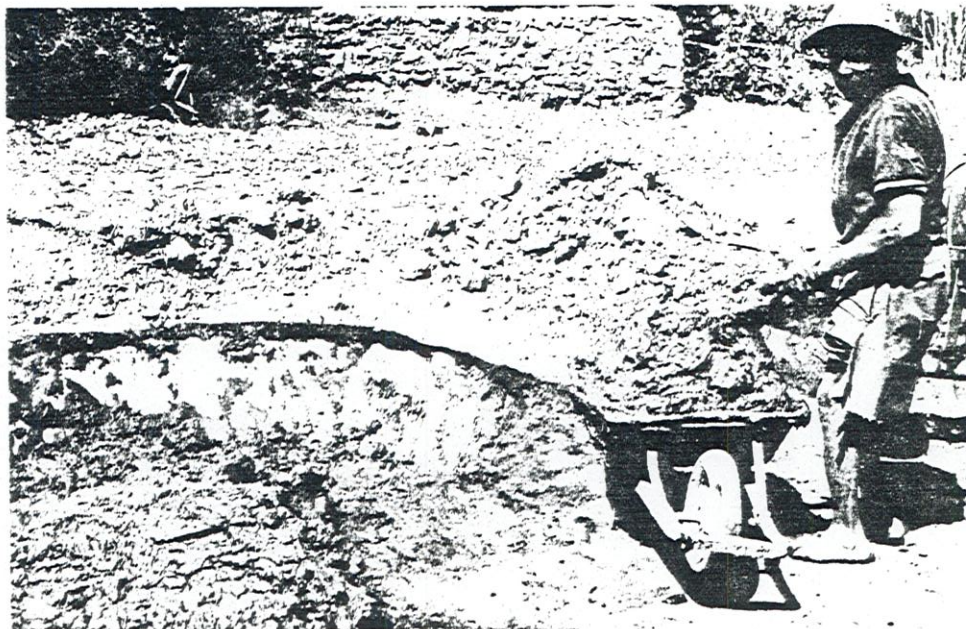
GAITerre

## FILIERES TERRE

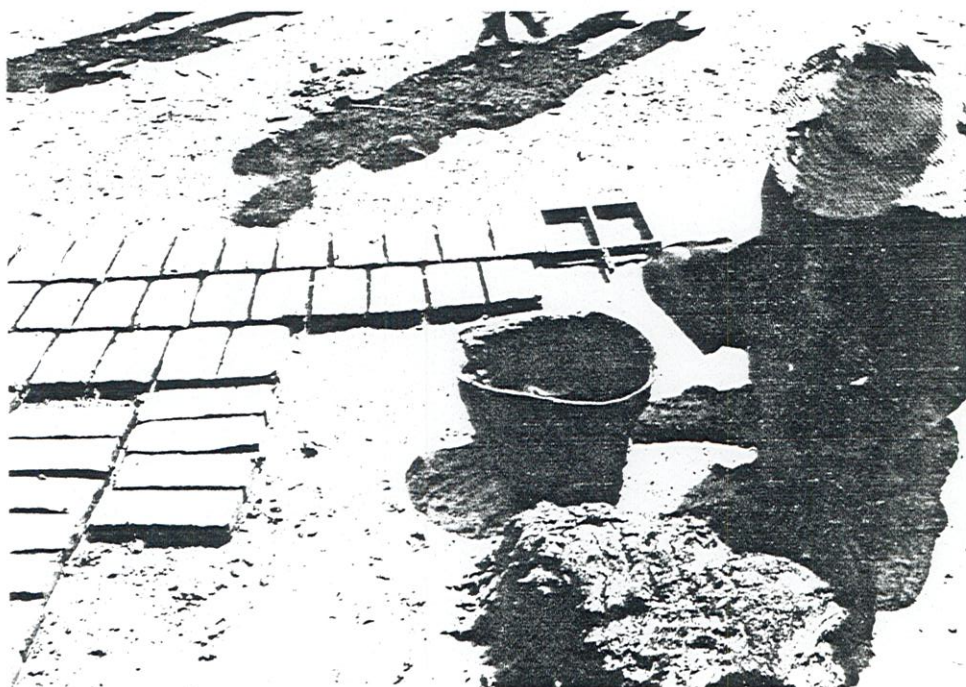
### BRIQUES CUITES + TERRE

#### BRIQUETERIE ARTISANALE A MARRAKECH

(enquête GAITerre - avril 83)



La terre, préparée et malaxée dans des fosses est acheminée par brouette vers l'aire de moulage.



Le moulage est effectué sur une aire préalablement recouverte d'une couche de sciure.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION :

© 1983

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

- L'association brique cuite + terre, soit dans sa forme traditionnelle (brique cuite + mortier de terre), soit dans des formes tout à fait originales (brique cuite + adobe, brique cuite + pisé) ne peut être exclue. Cette filière, utilisée de façon raisonnée doit pouvoir répondre aux exigences d'économie de la construction.

#### Modes de production, rendements, coûts

(d'après enquêtes CRA Terre/GAI Terre, Mrs Tamri et Madihy, Mr Soufiane Benyahia, avril 1983).

#### Fabrication artisanale de la brique cuite

(briqueterie située à la périphérie de Marrakech)

#### • Préparation de la terre

- La terre employée pour la confection des briques provient d'une terre argilo-limoneuse d'oued ou de bassins d'irrigation. Une fois sec, le matériau brut est acheminé vers la briqueterie par camion. Chaque chargement équivaut à 3 m<sup>3</sup> de terre qui correspondent à une production moyenne de 2500 briques.
- La préparation de la terre pour le moulage s'effectue dans des fosses creusées à même le sol. Ces fosses sont de forme conique, profondes d'environ 1,50 m et larges en leur sommet d'environ 2,50 m, à fond plat.
- L'eau puisée qui est utilisée pour le gâchage de la terre est stockée dans une petite citerne de 300 litres chargée sur une petite charrette tirée par un mulet. Le contenu de trois citernes, soit 900 litres est nécessaire au malaxage de 3 m<sup>3</sup> de terre. L'eau est préalablement déversée dans la fosse ; la terre est ensuite ajoutée petit à petit afin de favoriser une bonne dispersion du mélange qui est remué à l'aide de bâtons. Aucun adjuvant n'est apporté au mélange qui est laissé au repos pendant une journée avant d'être employé pour le moulage.
- La gâchée réalisée dans chaque fosse (3 m<sup>3</sup> de terre + 900 litres d'eau) correspond à une production d'environ 2500 briques de 0,22 m x 0,12 m x 0,05 m.

## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAI Terre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

- **Moulage et séchage**
- Le moulage nécessite une préparation de l'aire de travail qui est généralement effectuée la veille de l'opération. L'aire de moulage est recouverte d'une fine couche de sciure de bois. Cette disposition permet que les briques fraîchement moulées ne collent pas au sol.
- La terre préparée la veille du moulage est acheminée par brouettes depuis la fosse de gâchage jusqu'à l'aire de moulage. Chaque brouette est préalablement tapissée de cendres tamisées pour éviter que le mélange pâteux adhère à la paroi de l'outil.
- Le moulage est réalisé manuellement à l'aide d'un petit moule en bois à deux alvéoles. L'artisan mouille son moule, le remplit du mélange pâteux qui est aussitôt lissé et instantanément démoulé, laissant deux briques. La cadence de moulage est d'environ quatre briques à la minute et permet une production journalière de l'ordre de 1000 briques. Les dimensions des briques produites sont les suivantes (L x l x e) : 0,22 x 0,12 x 0,05. Une variation dimensionnelle de 1 à 2 cm notamment sensible sur la largeur et l'épaisseur des briques résulte d'un important retrait au séchage.
- Les briques produites séchent à l'air libre, sous le soleil durant 2 jours en période ensoleillée ou durant 3 à 4 jours par temps moins favorable. Le séchage s'effectue en deux stades, chaque brique séchant tout d'abord à plat puis sur le chant.
- La production une fois séchée est stockée à proximité du four. Les briques sont entreposées en piles sur leur longue tranche.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION :

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**



## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

BRIQUETERIE ARTISANALE A MARRAKECH  
(enquête GAITerre - avril 83)



moulage



#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION :

© 1983

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

Le four ; une cuisson de 30 000 briques environ tous les 10 jours.



- **Cuisson**
  - Le four de cuisson, en briques cuites enduites de terre et isolé par une maçonnerie de pierres et d'adobes est de conception traditionnelle, de forme conique tronquée en son sommet (cheminée). Les briques sont tout d'abord introduites par le bas du four, par d'étroites ouvertures qui seront ensuite rebouchées ; l'achèvement du remplissage est effectué par le haut du four. Les briques sont disposées en formation aérée afin de laisser passer l'air chaud. Chaque fournée représente 30 000 briques.
  - Le combustible est constitué de vieux pneus de camions et de voiture pour allumer le foyer puis de sciure de bois. Le feu est nourri pendant environ 36 heures par un relai constant de deux briquetiers.
  - La cuisson de 30.000 briques est réalisée en moyenne tous les 10 jours. Les déchets de production, briques fendues au séchage, cassées lors du stockage, représentent une moyenne de 200 unités pour une production de 2500 briques (3 m<sup>3</sup> de terre). Cette perte correspond donc à près de 2400 unités ou 1/12 de la production par fournée. Tous les déchets sont recyclés dans la production globale.
- **Vente**
  - Les briques produites sont vendues 0,20 DH pièce.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION :

© 1983

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

#### BRIQUETERIE ARTISANALE A MARRAKECH

(d'après enquête GAIterre - avril 83)



Séchage sous le soleil, 1ère phase à plat et 2ème phase sur le chant (2 à 3 jours).



Stockage des briques en piles, sur leur tranche avant cuisson ; finition du séchage à l'air libre.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION :

© 1983

**GAIterre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

- Rendements et coûts (avril 1983)

- Briqueterie artisanale de Marrakech

– prix de la terre transportée et livrée

– 3 m <sup>3</sup>	50 DHS
– 1 m <sup>3</sup>	16,6 DHS

– équivalent production briques.

- 3 m<sup>3</sup> de terre correspondent à une production de 2500 briques.

– incidence bris de matériau

- perte moyenne de 200 briques sur une production de 2500 unités.
- reste pour 3 m<sup>3</sup> de terre : 2300 briques
- incidence de la perte sur 1 fournée de 30 000 briques : 2400 briques.

– cubage de terre pour 1 fournée de 30 000 briques

- 3 m<sup>3</sup> x 12 = 36 m<sup>3</sup> + 3 m<sup>3</sup> (équivalent perte)  
soit : 39 m<sup>3</sup> de terre pour 1 fournée

– prix main d'œuvre

- préparation et moulage : 20 DHS/jour
- surveillance cuisson : 15 DHS/jour

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

- **Prix de revient pour 1 fournée de 30 000 briques (avril 1983)**
- cubage de terre pour 30 000 briques  
– 39 m<sup>3</sup> ou 3 m<sup>3</sup> x 12 x 50 DH 650 DHS
- préparation de la terre, gâchage :  
– 1 jour/1 homme pour 3 m<sup>3</sup>  
– 13 jours/1 homme pour 39 m<sup>3</sup>  
– ou 13 jours x 30 DHS 260 DHS
- moulage  
– rendement : 1000 briques/jour/1 homme  
– soit 30 jours/1 homme pour 30 000 briques  
– ou 30 j x 20 DHS 600 DHS  
– incidence temps passé au moulage sur  
2400 briques perdues  
– 2,5 j x 20 DHS 50 DHS
- combustible  
– collecte branchages + main-d'œuvre  
15 DHS pour 3 m<sup>3</sup> de terre  
15 DHS x 13 pour 30 m<sup>3</sup> de terre 195 DHS  
– sciure : 100 kg pour 3 m<sup>3</sup> de terre à 30 DHS  
30 DHS x 13 pour 39 m<sup>3</sup> de terre 390 DHS
- cuisson  
– 2 jours/2 hommes à 15 DHS 60 DHS
- amortissements divers  
– 50 DHS pour 3 m<sup>3</sup> de terre  
– 50 DHS x 13 pour 30 m<sup>3</sup> de terre 650 DHS
- **Prix de revient pour 30 000 briques** 2855 DHS  
soit 220 DHS pour 3 m<sup>3</sup> de terre

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

- **Prix des matériaux dans d'autres briqueteries**  
(enquêtes de Mr Madihy, technicien de l'ERAC)

- **Briqueterie marocaine de Marrakech** Prix H.T. (avril 1983)

— brique pleine 0,06 x 0,11 x 0,22 0,81 DH  
— brique pleine perforée 0,06 x 0,11 x 0,22 0,86 DH

- briques creuses

0,05 x 0,15 x 0,28 à 3 trous 0,57<sup>2</sup> DH  
0,07 x 0,20 x 0,28 à 6 trous 0,85 DH  
0,10<sup>5</sup> x 0,20 x 0,28 à 8 trous 0,88<sup>8</sup> DH  
0,15 x 0,20 x 0,28 à 12 trous 1,34 DH  
0,22 x 0,15 x 0,28 à 16 trous  
(DCM<sup>2</sup> à joint de rupture) 1,60<sup>6</sup> DH

- Hourdis

0,30 x 0,12 x 0,25 1,45 DH  
0,30 x 0,15 x 0,25 1,53 DH  
0,30 x 0,20 x 0,25 1,53 DH  
0,30 x 0,25 x 0,25 2,70 DH

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

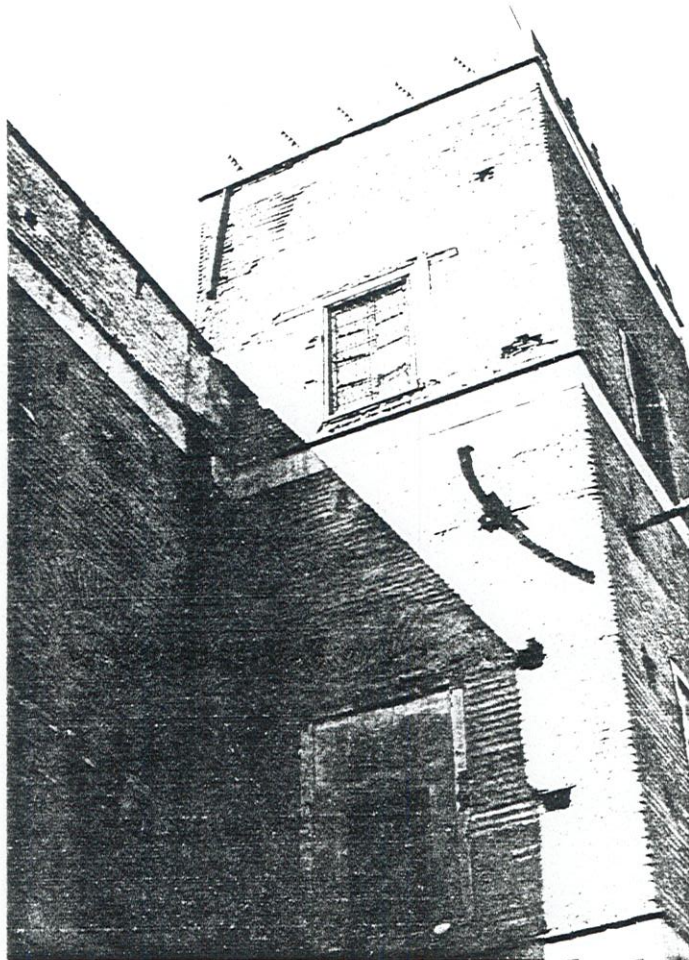
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

#### ARCHITECTURE EN BRIQUES + TERRE



Une construction R + 2 à TAMESLOUHT

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION

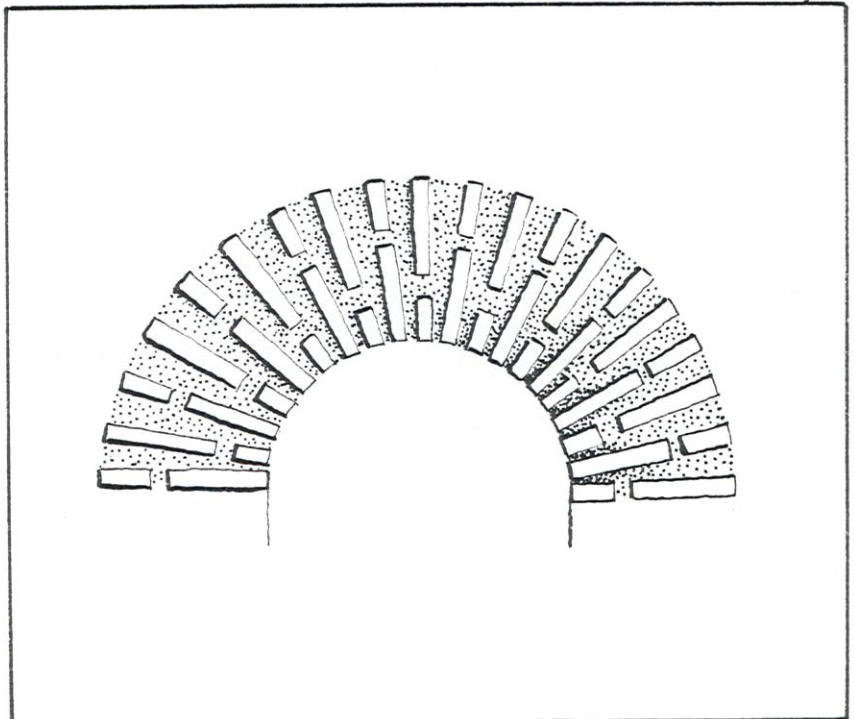
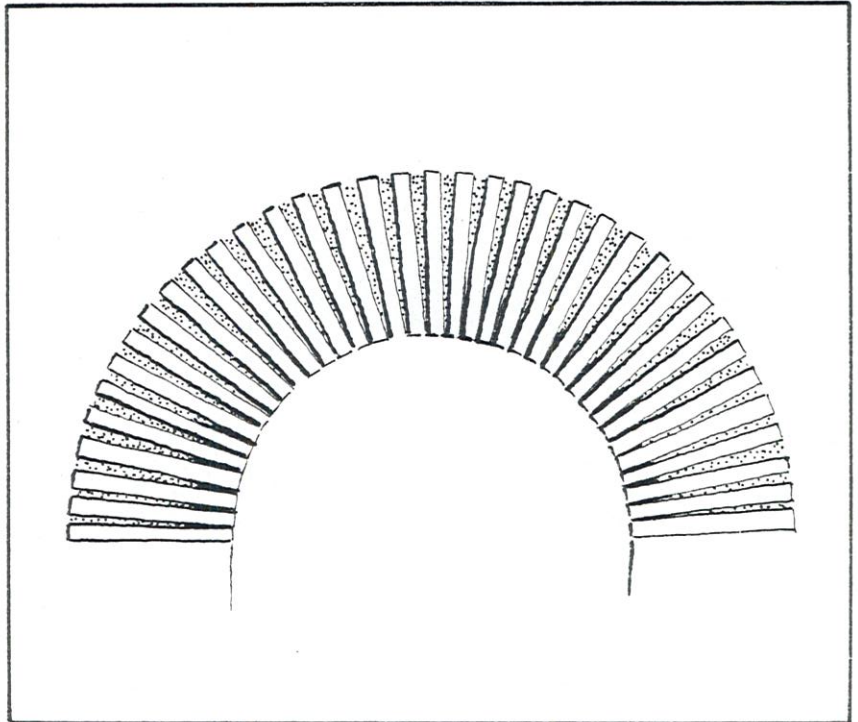
© 1983

**GAITerre**

## FILIERES TERRE

### BRIQUES CUITES + TERRE

ARCS EN BRIQUES CUITES  
ASSEMBLÉES AU MORTIER  
DE TERRE .  
(D'après GAIterre)



## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

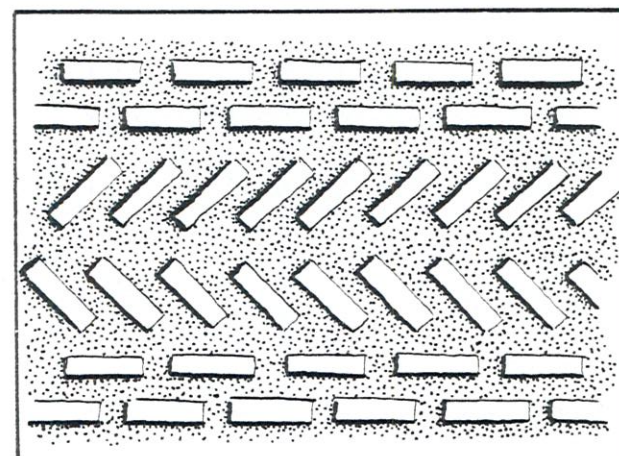
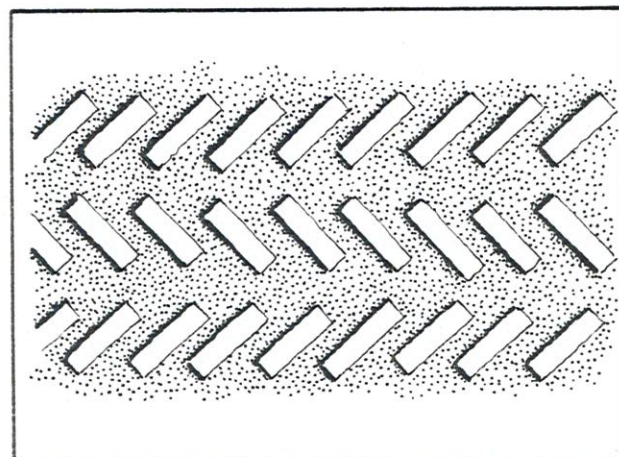
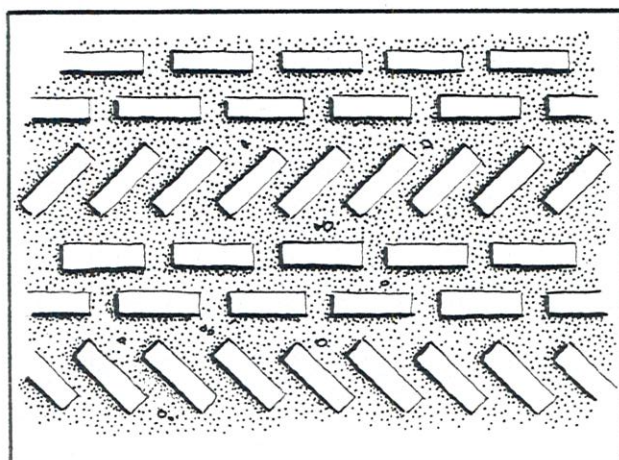
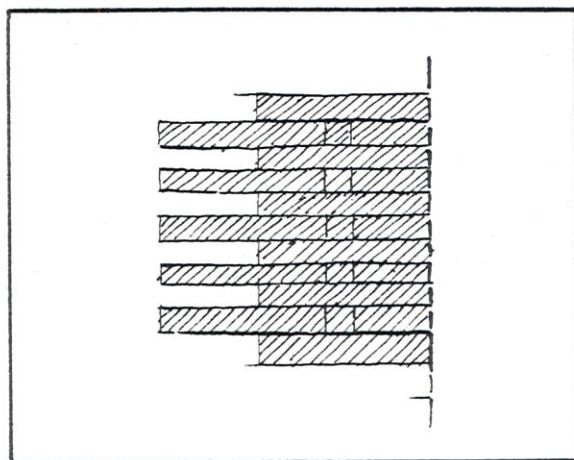
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAIterre**



# FILIERES TERRE

## BRIQUES CUITES + TERRE



DIFFÉRENTS TYPES D'APPAREILS  
DE BRIQUES CUITES ASSEMBLÉES  
AU MORTIER DE TERRE.  
(D'après GAITerre)

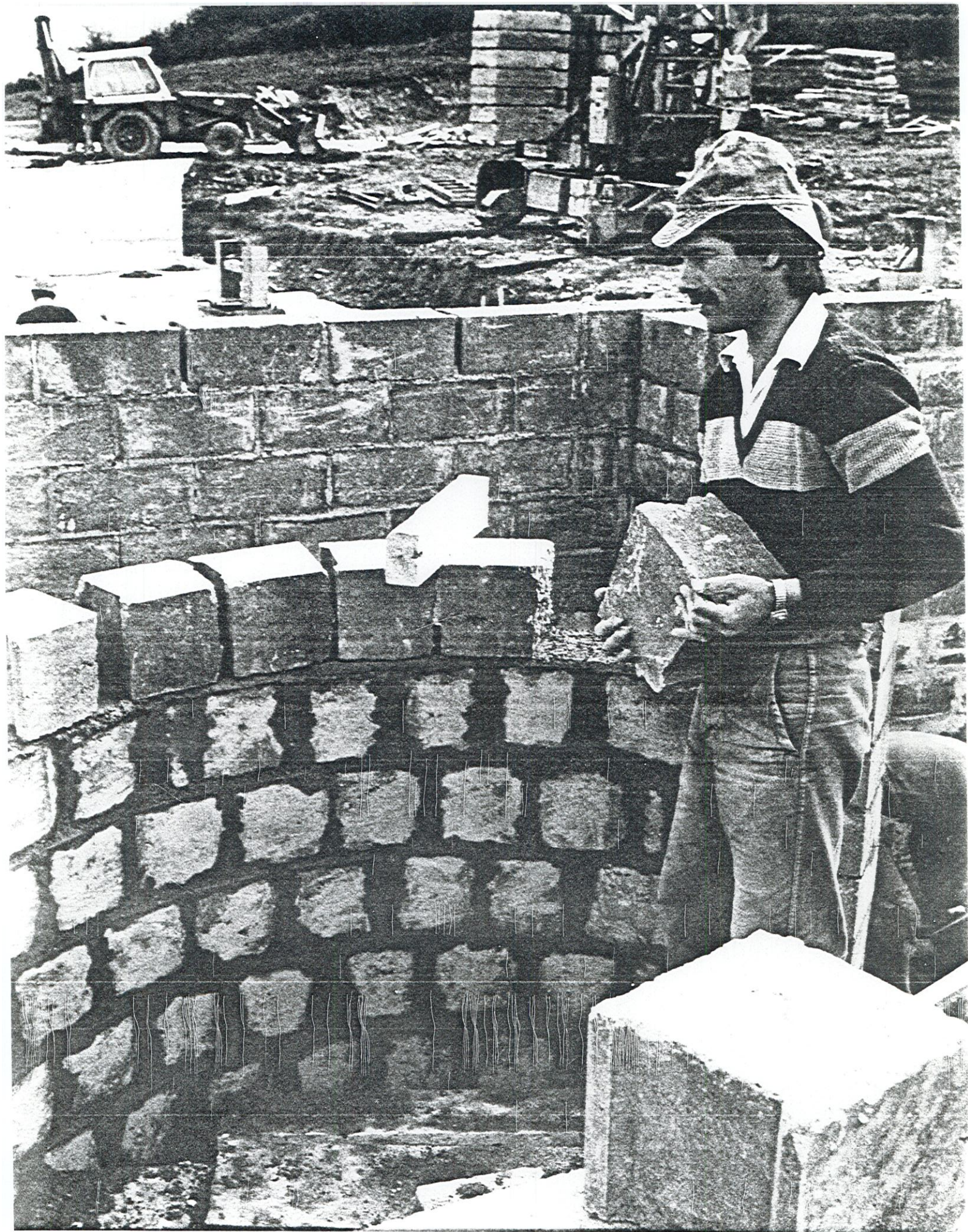
### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION :

© 1983

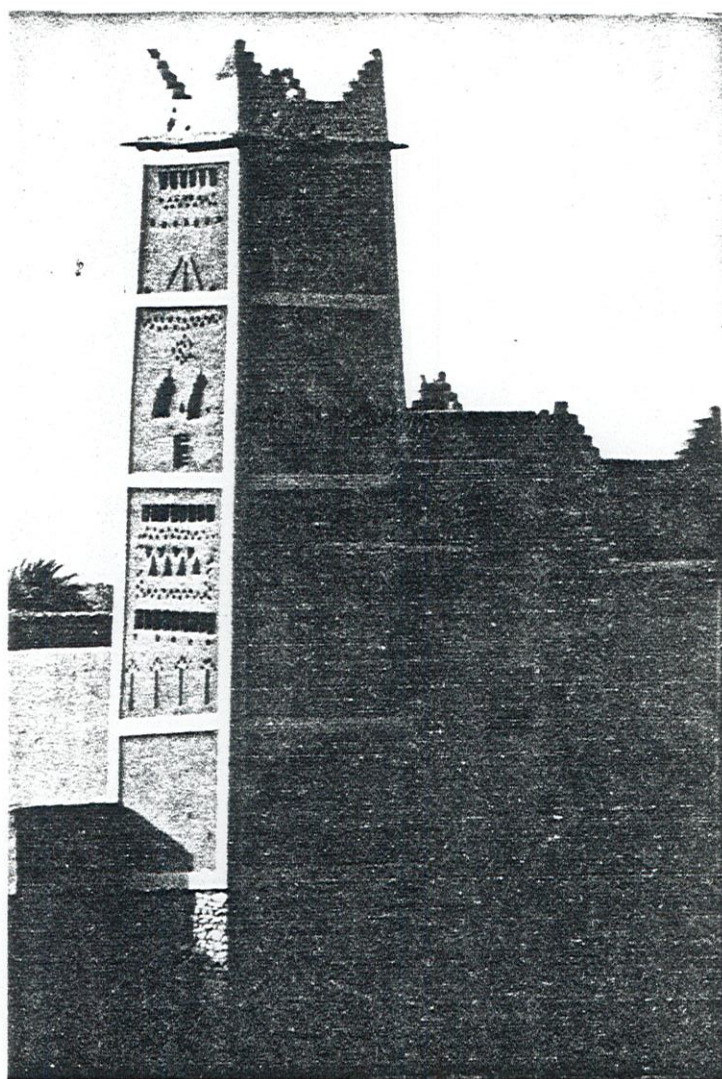
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**



**annexes**

MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE : PROGRAMME



## MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE : PROGRAMME

### A.1. MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE

- PROGRAMME DE L'OPERATION (établi par l'ERAC-Tensift)
- PRÉSENTATION
- INTRODUCTION

Dans le cadre d'une collaboration entre le Ministère Français du logement (Plan construction) et l'Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction de la Région du Tensift, le projet de 3 opérations en terre a été mis en place.

Le caractère expérimental justifie la taille des programmes (20 logements chacun).

Cette expérience se situe dans le cadre de la recherche d'un habitat au moindre coût, adapté au contexte culturel et social de la région.

- INTERVENANTS

Maitre d'Ouvrage :  
Etablissement Régional d'Aménagement et de Construction de la Région du Tensift.

Financement du surcoût-Etudes :  
Rexcoop - Plan construction

- OBJECTIFS

La mise en place de ces 3 opérations-terre vise en premier la production à moyen terme de logements économiques pour le plus grand nombre, et la réhabilitation du matériau "terre", parcequ'à faible contenu énergétique et à forte tradition culturelle.

Dans un premier temps, il s'agit d'améliorer la fiabilité du matériau, par des recherches sur la pathologie de la construction en terre traditionnelle.

D'autre part, le fait de réaliser une opération de standing, permettra de vaincre plus facilement les barrières psychologiques liées à l'acceptabilité du matériau.

Dans un troisième temps, contribuer à la renaissance d'un savoir faire ; pour la réalisation d'un habitat adapté à faible coût.

## ANNEXES

### MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE : PROGRAMME

#### • PROGRAMME DES 3 OPÉRATIONS

Compte tenu :

- de l'image de la construction en terre,
- des systèmes de crédit,
- de la volonté de s'assurer de la reproduction de l'opération,

il serait nécessaire de faire une démonstration technique et psychologique portant sur :

- des types de logements diversifiés pour toucher des demandeurs variés,
- des équipements de quartier pour plus de crédibilité au niveau de la communauté,
  - des modes de mise en œuvre de la terre moderne et d'un haut niveau technique pour garantir une qualité identique à celle du logement déjà réalisé par l'Etablissement.

#### • MODE DE CONSTRUCTION

Un cahier des charges adapté à la région de Marrakech sera élaboré par le Craterre et le GAI Terre, sous l'égide de la D.C.T.C.

Ce cahier des charges déterminera les filières terre qui seront développées :

- pisé
- adobes
- blocs compressés
- briques cuites + terre

Il inclura également un chapitre consacré à l'aide à la conception architecturale et qui apportera toutes les indications d'ordre technique basées sur les expériences et réalisations récentes.

#### • COUT

Le prix du mètre carré sera fixé à 1000 dhs pour la construction.  
La diversité des produits se fera au niveau des superficies couvertes.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : ERAC TENSIFT • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

# ANNEXES

## MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE : PROGRAMME

### • SITES

Trois sites adaptés à trois cibles :

- **Zone urbaine** : Quartier Amerchich - Habitat type villas
- **Zone péri-urbaine** : Hay Al Massira - Habitat semi-dense
- **Zone semi-rurale** : Ait Ourir - Habitat traditionnel.

### • KOUTOUBIA-TERRE

#### • SITUATION

Ville de Marrakech  
Quartier Amerchich.

#### • SUPERFICIE

4 800 m<sup>2</sup>

#### • PROGRAMME

20 logements individuels standing  
1 four - hammam  
1 garderie

#### • CARACTERISTIQUES

La surface des parcelles est de 200 m<sup>2</sup> maximum, constructible en R + 1.

##### Logements

1 séjour : 30 m<sup>2</sup> maximum  
3 à 4 pièces : 12 m<sup>2</sup> à 20 m<sup>2</sup> maximum  
1 cuisine - buanderie : 18 m<sup>2</sup> maximum  
1 salle-de-bains : 12 m<sup>2</sup> maximum  
et toilette

##### Four - Hammam

Four : 100 m<sup>2</sup>  
Hammam : 400 m<sup>2</sup> hommes, femmes.

Garderie : 300 m<sup>2</sup>

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : ERAC TENSIFT © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## ANNEXES

### MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE : PROGRAMME

- **HAYAL MASSIRA**

- **SITUATION**

Ville de Marrakech  
Extension - Ouest

- **SUPERFICIE**

4500 m<sup>2</sup>

- **PROGRAMME**

20 logements individuels de moyen standing  
1 maison de jeunes

- **CARACTERISTIQUES**

La surface des parcelles est de 150 m<sup>2</sup> maximum constructible avec possibilité R + 1.

**Logements**

Séjour	: 25 m <sup>2</sup> maximum
2 à 3 pièces	: 12 à 18 m <sup>2</sup> maximum
1 cuisine	: 15 m <sup>2</sup> maximum
1 salle de bains toilette	: 12 m <sup>2</sup> maximum

**Maison de jeunes** : 900 m<sup>2</sup> maximum

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : ERAC TENSIFT © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

## ANNEXES

### MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE : PROGRAMME

- **AIT OURIR-TERRE**

- **SITUATION**

Centre d'Ait-Ourir  
Province de Marrakech

- **SUPERFICIE**

5000 m<sup>2</sup>

- **PROGRAMME**

20 logements individuels économiques  
1 four Hammam  
10 commerces

- **CARACTÉRISTIQUES :**

La surface des parcelles est de 110 m<sup>2</sup> maximum constructibles avec  
possibilité R + 1

#### Logements

1 séjour	: 25 m <sup>2</sup> maximum
1 à 2 pièces	: 12 à 15 m <sup>2</sup> maximum
1 salle de bain toilette	: 12 m <sup>2</sup> maximum

#### Four - hammam

Four	: 100 m <sup>2</sup>
Hammam	: 400 m <sup>2</sup> hommes-femmes

10 commerces	: 20 m <sup>2</sup> par boutique
--------------	----------------------------------

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : ERAC TENSIFT © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.



## ANNEXES

### MARRAKECH 83, HABITAT EN TERRE : PROGRAMME

- **DÉROULEMENT DE L'OPÉRATION**

- **Contrôle technique :**

Direction du Contrôle Technique de la Construction (**D.C.T.C.**)  
Laboratoire Public d'Etudes et d'Essais (**L.P.E.E.**)

- **Cahier des Prescriptions Techniques - Terre :**

Centre de Recherches et d'Application Terre-Craterre  
Groupement d'architectes et ingénieurs Terre-Gaiterre

- **Maîtrise d'œuvre**

**Opération Amerchich/Koutoubia**

Messieurs :  
– Sijilmassi  
– Awad  
– Benabdeljalil

Collectif d'Architecture  
174, Bd Zerktouni  
CASABLANCA  
Tél. : 22 08 46

**Opération Hay Al Massira :**

Messieurs :  
– Benkirane  
– Chorfi

Résidence El Mansour  
12, Bd Moulay Slimane  
RABAT  
Tél. : (7) 309 91

**Opération Ait Ourir :**

– Mme Laraki  
– Mr Chekkouri

Résidence Imlil  
Avenue Echouhada  
MARRAKECH  
Tél. : (4) 348 29

- **Assistance à la conception architecturale**

**Opération Amerchich/Koutoubia**

Messieurs :  
– Wagner  
– Widmer

Groupe CLIMATS  
Route de Sainte-Marguerite  
05000 GAP  
Tél. : (92) 54 63 55

**Opération Hay Al Massira**

– Monsieur Berlottier

19, rue d'Alsace Lorraine  
01000 BOURG-EN-BRESSE  
Tél. (74) 22 53 93

**Opération Ait Ourir**

– Madame Chareyre  
– Monsieur Pagnier

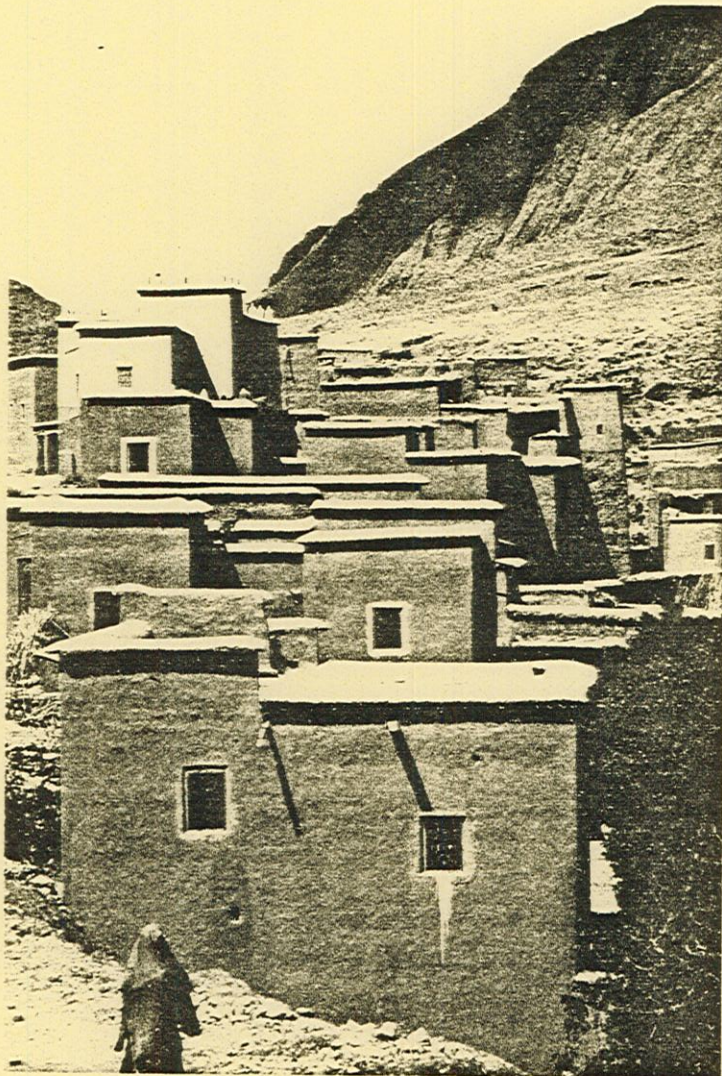
120, rue Mazenod  
69003 LYON  
Tél. (7) 895 25 62

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : ERAC TENSIFT • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

PROGRAMME REXCOOP



# ANNEXES

## PROGRAMME REXCOOP

PROGRAMME TECHNIQUE DE  
L'EXPÉRIMENTATION DE 60 LOGEMENTS EN TERRE  
RÉALISÉE A MARRAKECH PAR  
L'ÉTABLISSEMENT RÉGIONAL D'AMÉNAGEMENT ET  
DE CONSTRUCTION DU TENSIFT

Patrice DOAT - CRATerre  
Hubert GUILLAUD - CRATerre  
Philippe MICHEL - Plan-Construction

Mai 1983

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTÈRE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maître d'ouvrage : ERAC de Tensift.

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

## ANNEXES

### PROGRAMME REXCOOP

#### CAHIER DES CHARGES DU PROGRAMME REXCOOP

1. Pour répondre aux conditions du programme **REXCOOP**, les projets élaborés par les équipes de conception doivent **présenter un caractère expérimental**.  
(cf. : le texte du programme **REXCOOP**).
2. Les thèmes de recherche et d'expérimentation proposés aux équipes de conception des projets sont les suivants :
  - A. **Toitures et planchers.**
  - B. **Protection de surface**
  - C. **Accessibilité, faisabilité technique et économique.**

Ces thèmes sont considérés comme prioritaires et un accent particulier sera porté à leur développement lors de l'élaboration des projets.

3. Les solutions techniques et architecturales proposées par les concepteurs feront l'objet d'une vérification permettant aux partenaires de l'opération d'apprécier la qualité des réponses vis-à-vis du programme d'expérimentation proposé (étude des dossiers aux stades de l'APS et de l'APD). Ce contrôle de la conformité aux objectifs du programme **REXCOOP** ci-joint et au présent texte sera effectué conjointement par le **CRATerre** et **LE PLAN-CONSTRUCTION**.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage : ERAC de Tensift.

## ANNEXES

### PROGRAMME REXCOOP

#### THEMES D'EXPÉRIMENTATION : ACTIONS PROPOSÉES

##### A • TOITURES ET PLANCHERS

- **Structures**
  - portées courtes et libération des espaces
- **Etanchéité**
  - protection des toitures et durabilité

##### B • PROTECTION DE SURFACE

- **Protection architecturale** adaptée au matériau terre.
- **Qualité des enduits**, badigeons et peintures : composition, dosages, préparation des supports, modes d'application.

##### C • 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 œuvre
- **Suivi analytique du chantier** : rendements, dépenses.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTRE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage : ERAC de Tensift.

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

# ANNEXES

## PROGRAMME REXCOOP

### TOITURES ET PLANCHERS

#### INTRODUCTION

- Une mauvaise toiture engage des dégradations irréversibles sur les constructions en terre. Cette règle élémentaire du "bon chapeau" a toujours été observée par les bâtisseurs en terre.
- Dans sa conception traditionnelle, l'architecture marocaine a développé des systèmes de toitures plates et de planchers composites. Le bois et les lattis de nervures de palmes, les gaines de palmier juxtaposées, les voûtins de pierres bâties au timchent ou au plâtre en sont les principaux matériaux structuraux recouverts d'une épaisse couche de terre damée ou plus récemment par des chapes de béton maigre. Ces systèmes sont aujourd'hui progressivement remplacés par des dalles B.A. ou des dalles à poutrelles et hourdis.
- Les systèmes traditionnels mettent en œuvre des matériaux locaux d'emploi séculaire et généralement peu coûteux, de conception simple et connue du plus grand nombre des bâtisseurs. Néanmoins, dans un contexte moderne, l'efficacité technique de ces systèmes et leur maintenance à long terme demeurent contestables (faible résistance, entretien permanent, détérioration rapide).
- L'alternative d'une évolution de ce type de structures traditionnelles avec l'emploi de matériaux plus résistants se heurte à une pénurie ou à un coût excessif de ces matériaux (bois blanc, poutrelles B.A. p.e.) ; ces systèmes traditionnels ne semblent pas pouvoir accueillir des améliorations extraordinaires. Une meilleure exécution des couches de terre damée, une protection de surface des terrasses, un bon drainage des eaux pluviales, une réalisation soignée des acrotères et de leur protection, contribueraient sans doute à des améliorations sensibles quoique peu novatrices.
- Les systèmes traditionnels ainsi que les systèmes actuels en béton, poutrelles et hourdis qui tendent à les remplacer n'offrent que très peu d'intérêt par rapport aux orientations de recherche et d'expérimentation développées dans ce programme REXCOOP.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage : ERAC de Tensift.

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

## ANNEXES

### PROGRAMME REXCOOP

#### TOITURES ET PLANCHERS : ACTIONS PROPOSÉES

- Entre une tradition qui présente quelques points faibles et une technique actuelle qui ne répond pas totalement aux objectifs poursuivis, des solutions intermédiaires totalement novatrices sont possibles.
- Les recherches menées dans le cadre de ce programme REXCOOP et les propositions des concepteurs viseront notamment à trouver des solutions structurales originales permettant de libérer l'espace plan. Les solutions proposées adopteront des principes structuraux simples (murs-poteaux, arcs-poteaux, voûtes, voûtins, etc...) et mettront l'accent sur :
  - **La construction de toitures et de planchers capables de reprendre les efforts de flexion et de traction ou travaillant en compression.**
  - **Des principes de structures en petites portées compatibles avec une libération des espaces plans.**
  - **Une simplicité d'exécution afin d'assurer une faisabilité technique et économique**
  - **Une qualité de l'étanchéité des toitures.**
- Toutes les propositions rendront compte des modes de mise en œuvre adoptés afin de pouvoir jauger de la faisabilité technique et économique des systèmes proposés.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTÈRE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maître d'ouvrage: ERAC de Tensift

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

## ANNEXES

### PROGRAMME REXCOOP

#### PROTECTION DE SURFACE

##### INTRODUCTION

- Lorsque l'on emploie des stabilisants, il est plus économique de les utiliser pour réaliser une bonne protection de surface du matériau terre plutôt que de le stabiliser dans sa masse. Cette économie peut être augmentée par la qualité de la conception architecturale et notamment en adoptant des dispositions de protection du matériau de nature architecturale.
- Dès lors qu'une architecture de terre est bien conçue, dans le respect des règles de l'Art de Bâtir en Terre, en connaissance de la fragilité du matériau, dès lors qu'elle adopte des dispositions de protection architecturale efficaces, la protection de surface devient secondaire et peut ne concerner que quelques points faibles de l'édifice.
- Les bâtisseurs anciens ont généralement adopté ce point de vue, sûrs de leur expérience et par souci d'économie, préférant la réponse architecturale au blindage des constructions. Les traditions de bâtir en terre exposent de nombreuses solutions de protection des points faibles des constructions telles que renforcement des angles de murs, enduit ou bardage sur les soubassements, bande d'enduit sous les acrotères de terrasses, autour des tableaux de baies, chapes de chaux sur les terrasses, etc...
- Aujourd'hui, lorsque les bâtisseurs adoptent la solution de l'enduit mural, ils emploient des enduits compatibles avec le matériau terre (choix de liants et dosage appropriés, enduits à base de stabilisants naturels) et adoptent des modes opératoires adaptés (préparation des supports, accrochage).
- Les enduits à base de liants hydrauliques classiques tels que ciment, chaux, plâtre sont aujourd'hui parfaitement connus. Néanmoins, l'emploi de ces enduits pour la protection des constructions en terre a souvent causé de nombreux déboires. On constate la plupart du temps un manque de savoir-faire de la part des maîtres d'œuvres. Les problèmes les plus fréquents concernent une mauvaise préparation du support à enduire, un mauvais dosage des couches successivement appliquées.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage: ERAC de Tensift.

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre



## ANNEXES

### PROGRAMME REXCOOP

#### PROTECTION DE SURFACE : ACTIONS PROPOSÉES

- Dans le cadre de ce programme d'expérimentation sur la protection de surface, les concepteurs travailleront particulièrement les points suivants :
- **Protection de surface des toitures (chapes étanches, revêtements protecteurs).**
- **Protection du haut du mur.**
- **Protection du bas du mur.**
- **Protection des angles, des tableaux de baies, des saillies.**
- En ces points particulièrement fragiles des constructions en terre, les dispositions de protection de nature architecturale seront renforcées d'une protection de surface appropriée. Ces dispositions pourront faire appel à l'utilisation des procédés suivants :
- **Enduits, badigeons, peintures.**
- **Bardages et revêtements protecteurs utilisant divers matériaux locaux.**
- Une attention particulière sera portée à :
  - **La composition des enduits (qualité du liant, dosage des couches),**
  - **La qualité des badigeons et des peintures (compatibilité avec le matériau terre).**
  - **La préparation des supports.**
  - **L'accrochage des systèmes de protection.**
  - **Les techniques d'application.**
  - **La durabilité et la maintenance des systèmes de protection de surface.**
- Les solutions de protection de surface adoptées feront l'objet d'une note descriptive jointe aux propositions architecturales.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage : ERAC de Tensift.

## ANNEXES

### PROGRAMME REXCOOP

#### ACCESSIBILITÉ, FAISABILITÉ TECHNIQUE ET ECONOMIQUE

##### INTRODUCTION

- La recherche d'une accessibilité et d'une faisabilité technique et économique de l'architecture réalisée dans le cadre de cette opération demeure un axe de réflexion majeur. La réponse appropriée à ces objectifs permet d'entrevoir, au-delà d'un stade expérimental, la possibilité d'une stratégie de développement d'un habitat social et économique en terre. La démonstration qui sera réalisée en faveur d'une acceptabilité psychologique et d'un recouvrement d'une légitimité technique du matériau terre ne pourra être crédible que si sont également garanties la possibilité de reproduction aisée des modèles techniques et architecturaux proposés ainsi que leur faisabilité économique (production à moyen terme d'un habitat en terre au moindre coût).
- Les concepteurs des projets sont donc directement sollicités pour s'interroger sur le bien-fondé de leurs choix de partis techniques et architecturaux vis-à-vis de ces impératifs. Il convient particulièrement de développer une réflexion à tous les stades de production de l'architecture et d'aborder la conception du projet avec une vision globalisante, depuis la production des matériaux jusqu'à leur mise en œuvre.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage: ERAC de Tensift.

REALISATION: PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

## PROGRAMME REXCOOP

### ACCESSIBILITE, FAISABILITE TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE : ACTIONS PROPOSÉES

- **Souci d'économie** dans le choix des solutions techniques et architecturales.
- Concevoir des projets **qui exploitent les caractéristiques et les performances propres du matériau terre.**
- **Respect des règles de bonne pratique et de l'Art de Bâtir en terre** (connaître les faiblesses du matériau et adopter des réponses appropriées).
- **Priorité à l'emploi de la terre dans les systèmes constructifs du gros œuvre.** Possibilité d'élaboration de systèmes mixtes utilisant conjointement les différentes filières terre (blocs compressés + pisé + adobes) et d'autres matériaux locaux (briques, pierres).
- **Eviter de sophistiquer le matériau et les systèmes constructifs**, s'assurer de la simplicité de mise en œuvre en prévoyant des modes opératoires de la construction facilement assimilables par les constructeurs.
- **Concevoir en exploitant les ressources locales** (matériaux, savoir-faire, tours de main locaux) ; adapter les techniques de mise en œuvre au niveau technologique et au savoir-faire existant.
- **Introduction d'innovations technologiques et architecturales** dans la mesure de leur faisabilité technique et économique (mise en œuvre aisée, moindre coût).
- **Prévoir avec précision les modes de mise en œuvre** des systèmes constructifs adoptés et leur adaptation aux techniques et aux outillages de mise en œuvre (problème du calepinage des banchées de pisé, par exemple).
- Proposer un planning de chantier très détaillé et prévoir un système de suivi analytique des temps d'exécution, des rendements, des dépenses.

Les équipes de conception devront joindre une note écrite à leur projet, qui fera état de leur réflexion concernant les points précédemment évoqués, à chacune des étapes retenues (cf p. 2). (page 166)

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : PLAN CONSTRUCTION  
CRATerre

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
REXCOOP, PLAN CONSTRUCTION, MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES.  
Maitre d'ouvrage : ERAC de Tensift.

## ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

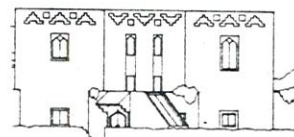


### A3 • QUELQUES ETUDES DE CAS MAISON VREELAND

(enquête GAITerre, mai 1983)

#### Construction d'une maison solaire Enquête sur la partie terre de la maison

réalisation et suivi de chantier : Christian Bertheas



Cette maison, en cours de construction dans la palmeraie de Marrakech, présente un intérêt particulier d'analyse car elle associe un matériau (la terre) à la mise au point d'une technique (le chauffage et la climatisation solaire).

La mise au point d'un système solaire semi-passif dans cette maison, décidée d'un commun accord entre le propriétaire et les concepteurs, a été le fil directeur de la conception de la maison. La terre n'a été qu'un moyen pour atteindre cet objectif et n'a pas constitué au début un impératif de construction. Elle n'a été utilisée que comme matériau de remplissage, la structure porteuse restant traditionnelle (poteau + chaînage béton).

#### • Le choix du matériau :

Plusieurs critères ont amené le choix de la terre comme matériau adapté au chantier :

#### La qualité thermique :

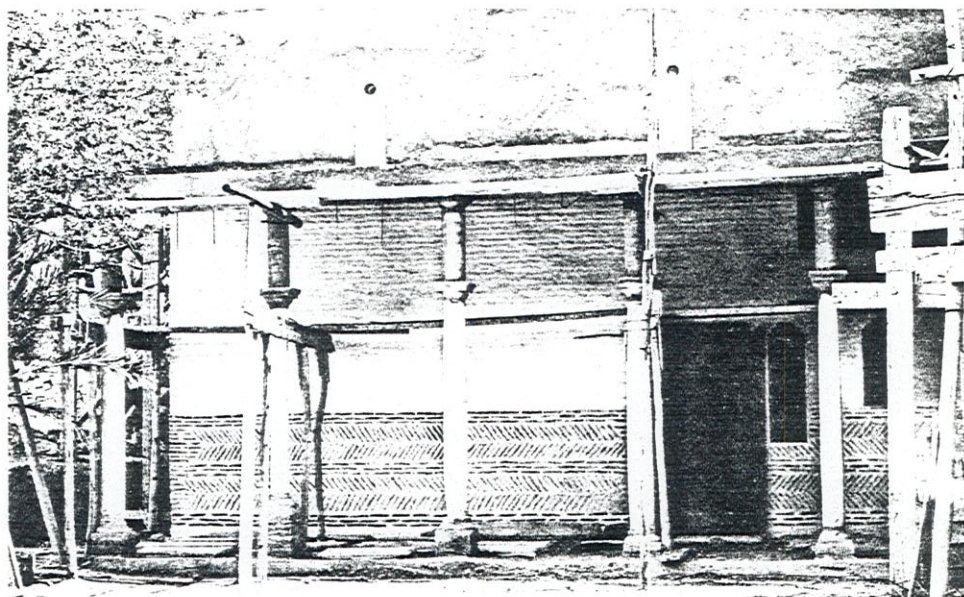
La réalisation d'une maison solaire semi passive impose aux concepteurs la nécessité de réaliser une bonne isolation de la maison et d'avoir une masse thermique importante comme modérateur de température. La terre présente l'avantage d'une bonne masse thermique une qualité hygrométrique rendant l'atmosphère des maisons en terre moins sèche que les maisons en ciment.

#### Le coût de la terre :

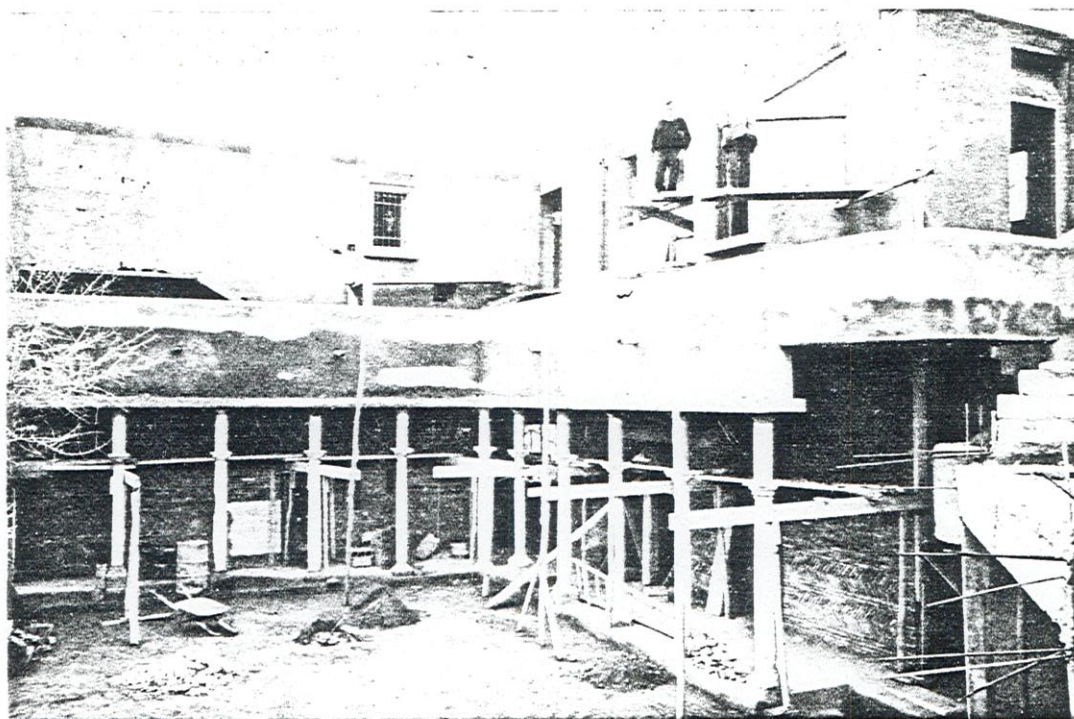
La conception des murs de la maison sur le principe du "mur trombe" implique l'utilisation de quantités importantes de matériau puisqu'il faut prévoir un double mur pour obtenir une bonne isolation et créer les systèmes de circulation d'air nécessaire au chauffage. La réalisation de la maison solaire provoque donc un surcoût par rapport aux maisons de conception traditionnelle. L'emploi de la terre comme matériau de remplissage doit pouvoir faire baisser ce surcoût étant donné la disponibilité de la terre dans la région et l'utilisation fréquente de ce matériau dans les constructions économiques traditionnelles.

**ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE**

**MAISON VREELAND, palmeraie de MARRAKECH**



L'état du chantier en avril 1983



**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE GAITerre  
CHANTIER C. BERTHEAS

© 1983

## ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

### L'utilisation d'un savoir-faire local :

La contrainte financière pour faire baisser le surcoût solaire impose d'utiliser une technique meilleur marché que le parpaing local et tout matériau ou technique importés. La grande tradition de construction en terre dans le Sud Marocain et la rencontre de Maâlems locaux connaissant bien la terre ont été déterminantes dans le choix.

### La qualité de la terre sur le site :

Une analyse de la terre du terrain a donc été faite par les maâlems contactés pour la construction. L'excellente qualité du matériau évite tout problème d'approvisionnement et de surcoût de transport et permet d'utiliser directement la terre excavée résultant du trou nécessaire pour enterrer la maison et permettre la régulation bioclimatique.

### La protection extérieure des murs

Les craintes de détérioration du mur extérieur qui provoquent toujours un peu la réticence du public pour utiliser la terre, n'existent pas dans ce projet puisque la conception solaire implique une circulation d'air à l'extérieur du mur et impose donc l'emploi d'une double peau qui protège le matériau.

Deux filières pouvaient être utilisées : le pisé ou l'adobe. Le choix de la deuxième solution s'est révélé plus judicieux dans la mise en œuvre du mur : plus grande souplesse dans le plan, moins grande épaisseur du mur pour la réalisation des "lames" de circulation d'air.

L'utilisation du pisé aurait créé une masse thermique trop importante, nuisible au chauffage rapide de la maison. En effet dans le système proposé du double mur en terre, le mur extérieur joue le rôle d'isolant, et le mur intérieur, celui de stockage de chaleur pendant l'hiver — seul un mur peu épais peut permettre un chauffage relativement rapide.

### • La fabrication des briques

#### La terre :

L'analyse du terrain ayant révélé une excellente terre pour faire les adobes, la carrière de terre a été réalisée à l'emplacement même de la maison permettant ainsi de l'implanter dans le dénivelé du terrain ainsi réalisé (environ 1m de profondeur) pour obtenir une meilleure stabilisation de la température à l'intérieur de la maison.

La terre utilisée pour fabriquer les briques a été prise après un décapage de la terre végétale sur environ cinquante centimètres.

Pour la fabrication des 15 000 premières briques 250 m<sup>3</sup> de terre ont été ainsi excavés.

## ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

### La technique :

Les briques ont été réalisées de façon très traditionnelle. Au début, il s'agissait de transmettre le savoir faire du maâlem, aux ouvriers employés sur le chantier, à la fois pour la fabrication des blocs et la construction des murs.

Ensuite, cinq personnes ont travaillé en permanence à la fabrication : 2 mouleurs, 3 extracteurs et malaxeurs. Une réserve d'eau de 7 m<sup>3</sup> avait été construite pour alimenter l'aire de malaxage.

Un trou était préparé dans la terre pour l'inonder d'eau et l'imbiber pendant 12 heures. Ensuite, le lendemain, la terre était malaxée au pied avec un nouveau mélange d'eau et un apport de paille neuve coupée en morceaux de 10 à 15 cm constituant une armature pour les briques.

Les maâlems utilisaient deux types d'outils fournis par le responsable du chantier :

— deux doubles moules en bois permettant la réalisation de deux briques à chaque fois :

— des pioches aux fers très larges comme des pelles, permettant de prendre la quantité nécessaire de terre pour le moule.

Dans un mouvement régulier, devenant automatique, l'ouvrier pioche ainsi la terre malaxée, soulève sa pioche et laisse tomber la quantité de terre dans le moule avant de la tasser au pied et de finir de la lisser à la main — le moule était graissé avec de l'argile, de façon à permettre un démoulage facile.

Les briques d'adobe sont ensuite étalées sur le sol pour sécher sur place pendant environ 3 semaines.

Le stockage des briques s'effectue alors suivant un empilage en quinconce à 45° de façon à permettre une meilleure aération pour terminer le séchage et l'écoulement de l'eau en cas de pluie.

### Le rendement

Les équipes travaillaient à leur rythme, bien particulier : en général les ouvriers déterminaient un quota de briques à réaliser par jour en fonction de l'argent qu'ils voulaient gagner et n'avaient pas d'horaires journaliers fixes.

Leur rythme était au début de 12 jours de travail pour trois jours de repos, puis s'est organisé par la suite autour de 10 jours de fabrication pour 2 jours d'arrêt.

Une idée de rendement journalier peut être donnée par les constats suivants :



## ANNEXES

### ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

Dates	Nbre briques	Rendement journalier	Rendement par homme	Gain par homme
22/02 au 05/03	2 500	210	70	21 DH
09/03 au 13/03	1 556	310	103	31 DH
03/04 au 14/04	3 100	258	86	26 DH

Sur l'ensemble du chantier, il a été réalisé une première quantité de 15 000 briques en trois mois environ soit une quantité moyenne de 208 briques par jour si l'on compte environ 18 jours de repos pour ces trois mois.

#### • Les coûts

Il est difficile de calculer le prix de revient du m<sup>2</sup> de mur construit. Dans l'étude du coût de la partie "terre" du double mur, il faut inclure trois prix : (non compris les coûts d'amortissement du chantier).

#### L'excavation de la terre :

Prix de 3 000 DH pour 250 m<sup>3</sup> de terre excavée mais non transportée.

#### La fabrication des briques :

Le prix de revient est fonction de deux éléments :

1. La main d'œuvre
2. L'achat de paille.

1. Les ouvriers étaient payés 0,30 DH par brique de 20 x 20 x 50 et 0,20 DH pour les briques cubes 20 x 20 x 20 plus fourniture du thé et du sucre. Les outils n'étaient pas fournis par les ouvriers.

2. La paille revenait à peu près au prix égale à la main d'œuvre par brique. Les prix de revient des briques peuvent être estimés à :

- 0,60 par une brique de 20 x 20 x 50
- 0,40 par une brique de 20 x 20 x 20.

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

© 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE GAITerre  
CHANTIER C. BERTHEAS

## ANNEXES

### ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

#### La construction du mur :

L'équipe de construction du mur était composée de 1 maâlem et un ouvrier payés respectivement 40 et 17,50 DH/jour. Ils réalisaient environ 3,6 m<sup>2</sup>/jour de double mur, ce qui représente un coût moyen de 16 DH/m<sup>2</sup>.

Une étude de coût des différents matériaux trouvés à Marrakech permet de se rendre compte des avantages de l'utilisation de la terre.

Ces prix sont ceux obtenus par Christian Bertheas lors de l'organisation du chantier (prix février 1983)

	Nature	Quantité	Prix en DH
Ciment	325	50 kg	26
	250	50 kg	24
Sable	Oued N'Fis gris (très bonne qualité)	2 m <sup>3</sup> 50 avec transport	110
	Oued Bahja jaune (bon)	"	75
	Oued Lajhar rouge (moyen)	"	75
	Oued Kalh noir (bon)	"	75
	Oued Tensift rouge (mauvais)	"	60
Gravier	Oued N'Fis	2 m <sup>3</sup> 50 avec	110
	Oued Lajhar	transport	80
Gravette calibrée	Pierre du guéliz	1 m <sup>3</sup> sans transport	175
Briques ciment	Médina	1	0,90
	30 x 20 x 10		
	Creuse	1	1,30
	20 x 20 x 40		
	15 x 20 x 40	1	1,15

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

© 1983

ENQUETE GAITerre  
CHANTIER C. BERTHEAS

# ANNEXES

## ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

Briques ciment IPPB	20 x 20 x 50	1	3,40
	15 x 20 x 50	1	2,70
	10 x 20 x 50	1	1,75
Briques terre cuite industrielles	5 x 20 x 30	1	0,75
	7 x 20 x 30	1	1,10
	10 x 20 x 30	1	1,20
	15 x 20 x 30	1	1,80
Hourdis terre cuite	12 x 30 x 30	1	1,70
	15 x 30 x 30	1	1,75
	20 x 30 x 30	1	1,84
Hourdis ciment indus.	12 x 20 x 50	1	2,20
	15 x 20 x 50	1	3,48
Brique adobe chantier	20 x 20 x 50	1	0,60
	20 x 20 x 20	1	30 C paille 0,40 30 C M.O
Briques adobe Médina	20 x 30 x 15	1	0,60
Pisé	8 m x 0,75 m : 60 m <sup>2</sup> 0,50 m d'épaisseur	environ 3 m <sup>3</sup>	60,00
			50 1er rang
			60 2e rang
Briquettes terre cuite	Médina	1	0,20
	20 x 10 x 4		
Tuiles rondes (demi-cône tourné)	20 x 10	1	0,55
Bois de coffrage	Divers	m <sup>3</sup>	950 à 1100
Briques concassées industrielles	Utilisation isolant	1,5 m <sup>3</sup>	1,44
Déchets d'olive (grignon)		1 tonne	300,00
Paille (adobe)		kg	0,60

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
 MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
 Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

© 1983

ENQUETE GAITerre  
 CHANTIER C. BERTHEAS

### • Détails de construction

Le principe de construction de la maison reste relativement traditionnel. La structure porteuse est constituée d'un ensemble de poteaux béton + chaînage avec des planchers en poutrelles PPB et hourdis.

L'originalité réside dans la mise en œuvre des doubles murs de remplissage et du système de conduits de circulation d'air pour le chauffage solaire réalisés par des hourdis en terre cuite accrochés sur la partie extérieure du mur (voir détail).

### Le mur de remplissage

Son soubassement est réalisé en béton armé de façon traditionnelle. Les poteaux bétons situés tous les trois mètres et aux angles du bâtiment (dans la partie extérieure du mur) ont été montés jusqu'à la hauteur du chaînage avant la construction du double mur en terre — celui-ci a été totalement construit jusqu'au chaînage en 8 jours pour une surface de mur de 156 m<sup>2</sup> ; représentant une avance de 18 m<sup>2</sup> par jour. A cette époque, l'équipe de construction était constituée de 17 personnes.

— 5 maâlems avec chacun 1 ouvrier soit 10 personnes pour faire le mur (1,8 m<sup>2</sup>/jour/homme)

— une équipe qui confectionnait le mortier pour tout le monde et le transportait (4 personnes)

— une autre équipe qui apportait les briques au pied des échaffaudages (3 personnes).

La mise en œuvre était relativement délicate du fait :

— du poids des briques

— de la mise en place du double mur

— du système de croisement des briques pour solidariser les deux murs entre eux.

— du nettoyage de l'espace entre les deux murs afin d'avoir une lame d'air parfaite.

Ce nettoyage a pu se faire pendant toute la construction du mur, par le bas de celui-ci au moyen des bouches d'air prévues dans le plancher.

— la pose des fers en attente pour l'accrochage des hourdis en terre cuite.

le mur est raidi par une structure poteaux beton et chainage

71 à 72 cm (enduit compris)

PRINCIPE DUMUR DE REMPLISSAGE

Hourdis Creux enterre cuite pour Systeme Solaire

Enduit interieur

fer d'accrochage des Hourdis (tous les 80cm)

Brique d'adobe 20x20x50

Brique de liaison entre les deux murs (tous les 3 rangs, et tous les 4 briques).

Joint au mortier maigre permettant accrochage enduit

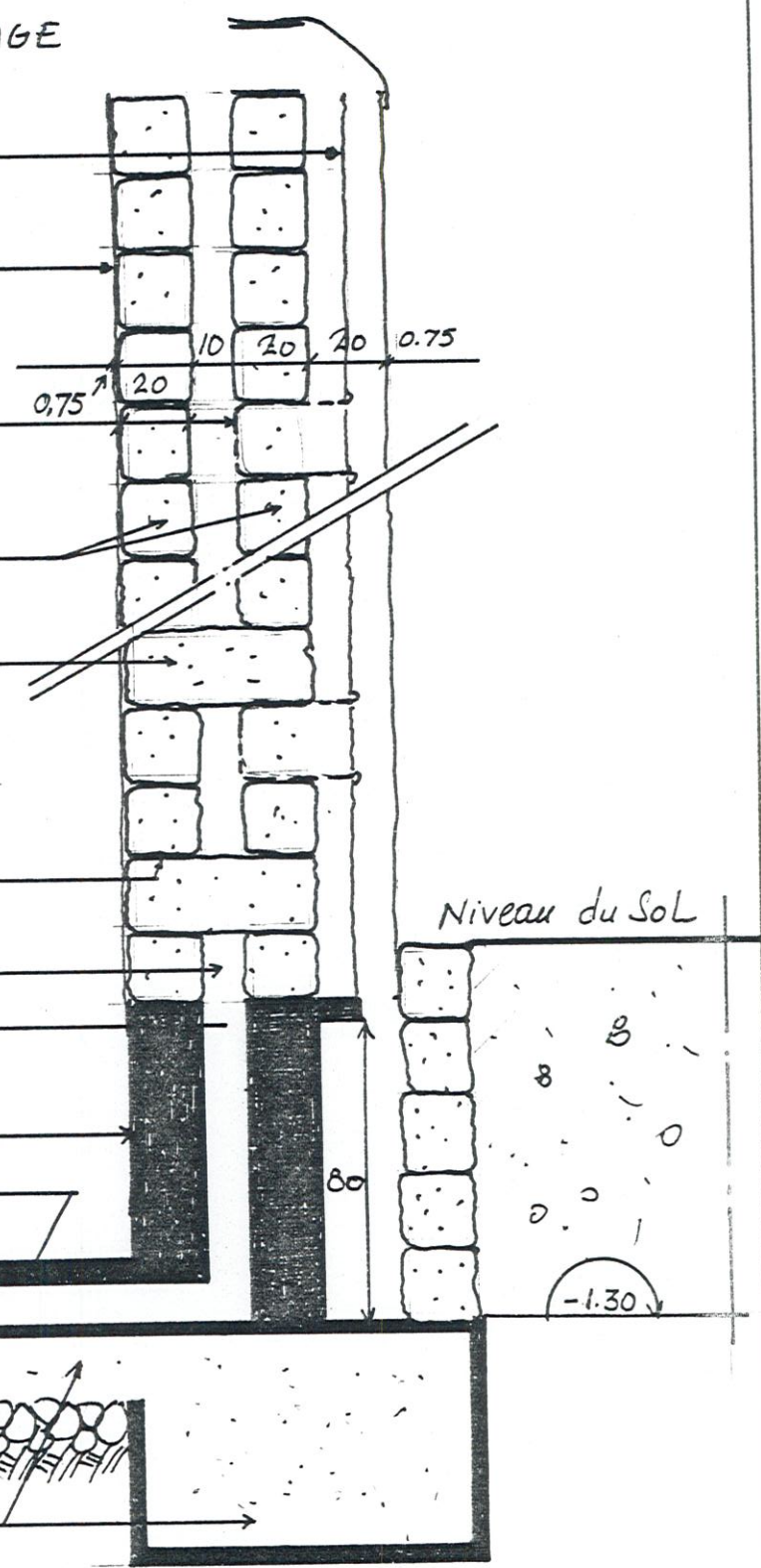
Vide d'air 10 cm  
Conduit de Circulation d'Air

Soubassement chainage beton

double Sol

Niveau du Sol

Dalle Beton sur Herisson + fondation



## ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

### Le mortier :

Le liant est composé d'un mortier traditionnel au ciment pour permettre une homogénéité d'accrochage de l'enduit prévu également en ciment. Les briques d'adobe sont liaisonnées aux poteaux par des fers en attente toutes les 3 briques scélés dans les joints.

### Les cloisons intérieures :

Constituées des mêmes briques (sur une seule épaisseur) elles sont relativement lourdes et nécessitent un doublage des nervures PPB pour l'étage supérieur.

### Les enduits intérieurs :

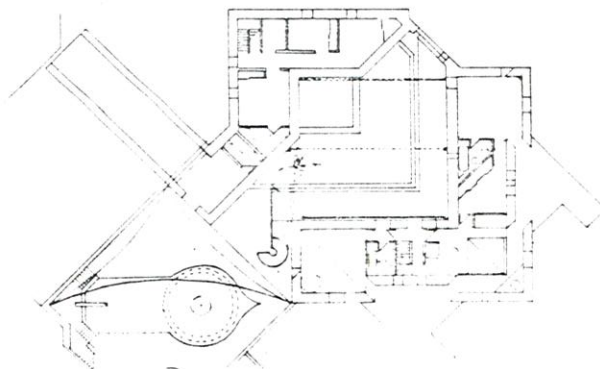
Réalisés en mortier bâtard ils ont comme support un grillage permettant la liaison terre-brique ou terre poteau béton suivant les situations pour rendre l'accrochage meilleur.

Un durcissement de trois mois est prévu avant toute autre couche pour la réalisation du Tadelakt.

### Le mur de parement :

Réalisé autour du salon d'été et hammam, il est également en double mur mais le mur extérieur est réalisé en briques cubiques de 20 x 20 x 20 cm positionnées à 45°. (comme le stockage pour séchage) et liaisonnées par un joint au tadelakt.

Enquête réalisée auprès de Christian Bertheas,  
Constructeur de la maison.



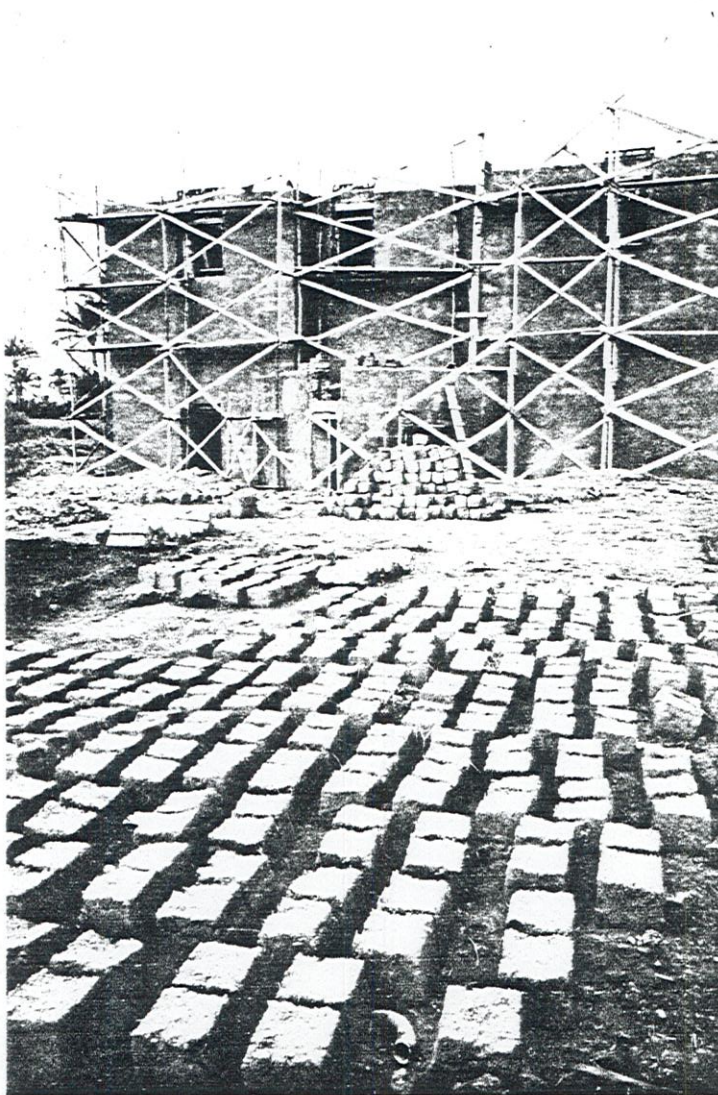
## AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

© 1983

ENQUETE GAITerre  
CHANTIER C. BERTHEAS

**MAISON VREELAND, palmeraie de MARRAKECH**



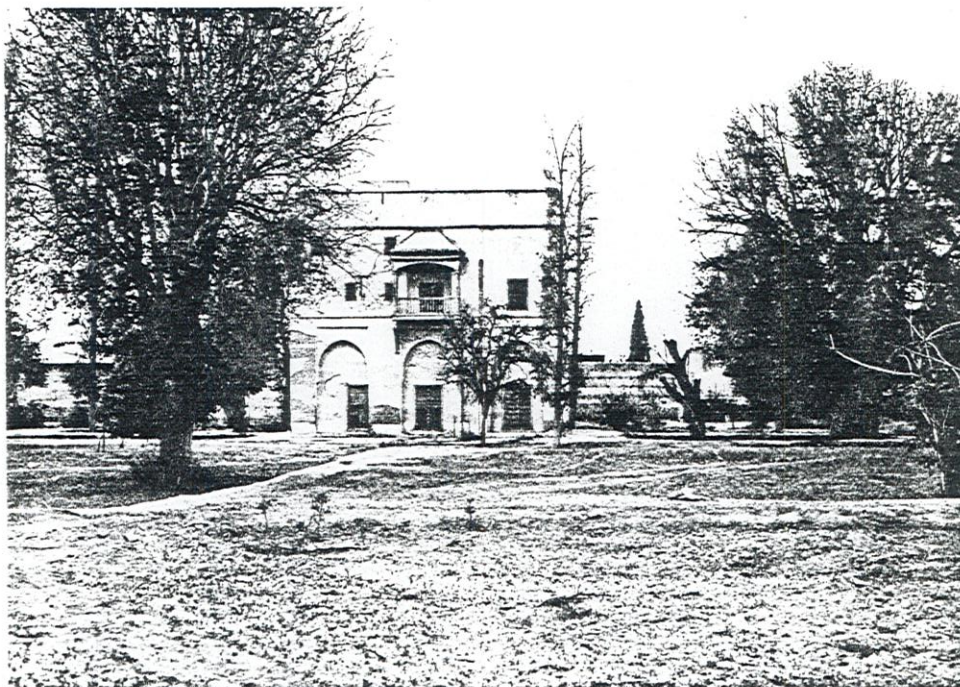
Production des briques d'adobe de forme cubique, sur le chantier.



## ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

### ARCHITECTURE EN BRIQUES + TERRE

- **RÉSIDENCE DE JBEL EL KHDR** (Mont vert) (enquête GAITerre, mai 1983)  
**MARRAKECH**



Construite dans les années 30, elle faisait office de résidence pour les officiers supérieurs Français. Elle est entièrement réalisée en matériaux locaux :

- Murs en briques de terre cuite jointoyées en terre et chaux,
- Enduits Tadellakt
- Plafonds traditionnels (poutre en bois)
- Boiseries et ferronnerie artisanales
- Mur de clôture en pisé
- Allées de jardins en briques et terre + chaux.

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

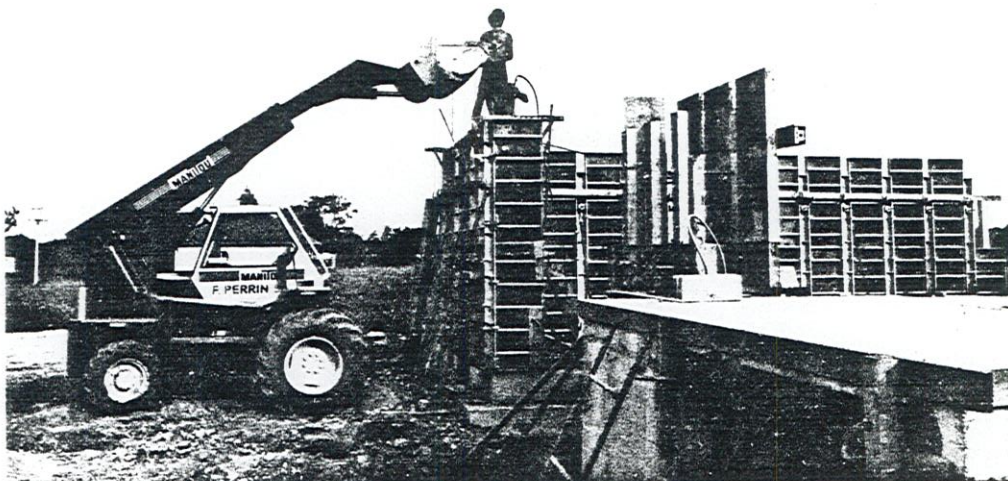
© 1983

ENQUETE **GAITerre**

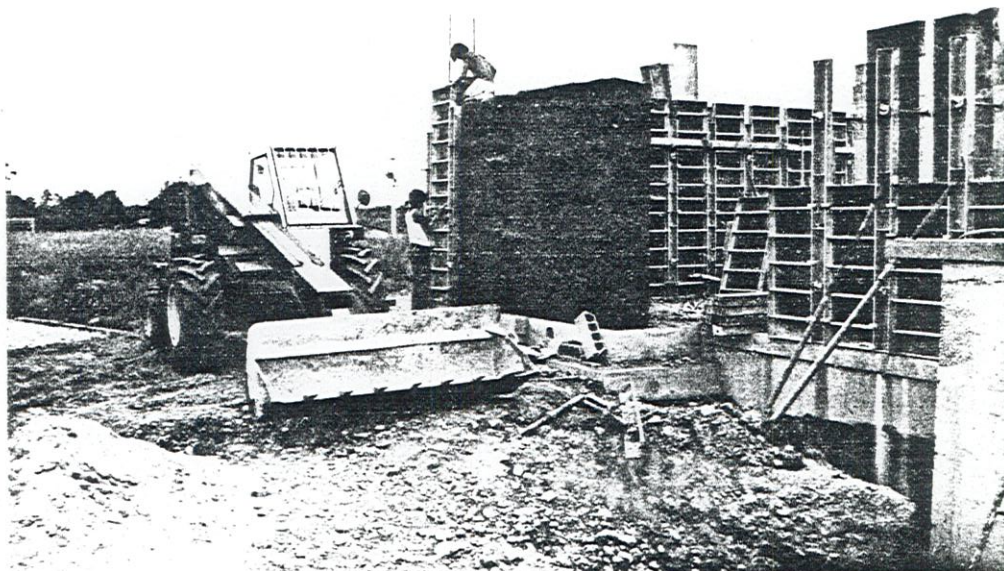


**ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE**

**CHANTIER EN PISÉ, ISERE, 1983**  
Entreprise Terre-Soleil, 38290 VILLEFONTAINE



Elévation mécanisée de la terre à l'aide d'un **manitou**



Décoffrage immédiat du pisé

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

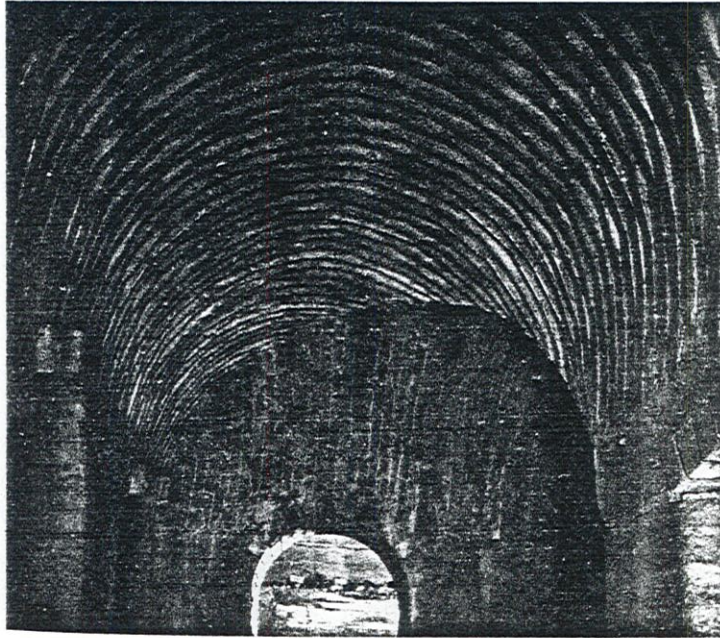
D'APRES DOCUMENTS  
de M. J. GUMBAU

© 1983

## ANNEXES

### ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

**CHANTIER EN PISÉ**  
LUMIO, Corse, Christian Moretti, 1982



Aspect intérieur d'un bâtiment en pisé et en briques compressées (voûtes)

**CHANTIER A PIGNA, CORSE, 1982-1983**  
Groupe A VOLTA, architecte J.C. d'ORAZIO



### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

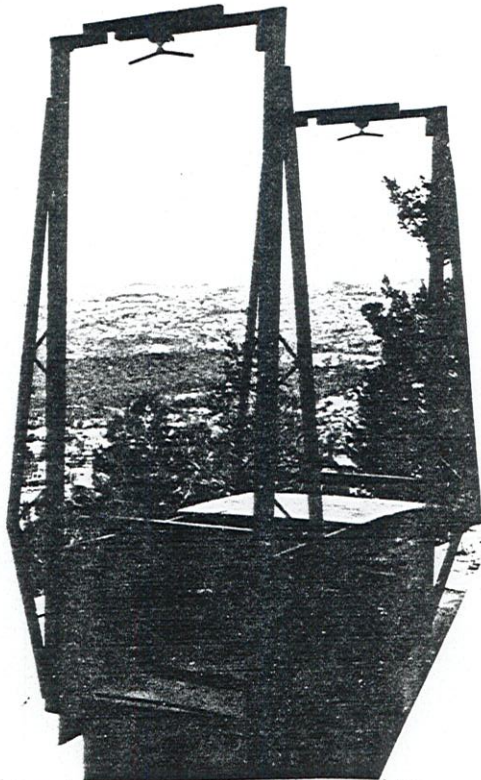
Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE CRATerre  
CHANTIER C. MORETTI

© 1983

## ANNEXES

### ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE



Banche mise au point par **J. GUMBAU**,  
Entreprise Terre et Soleil

#### CHANTIER EN PISÉ

**CEYRESTE**, Bouches-du-rhône, 1983

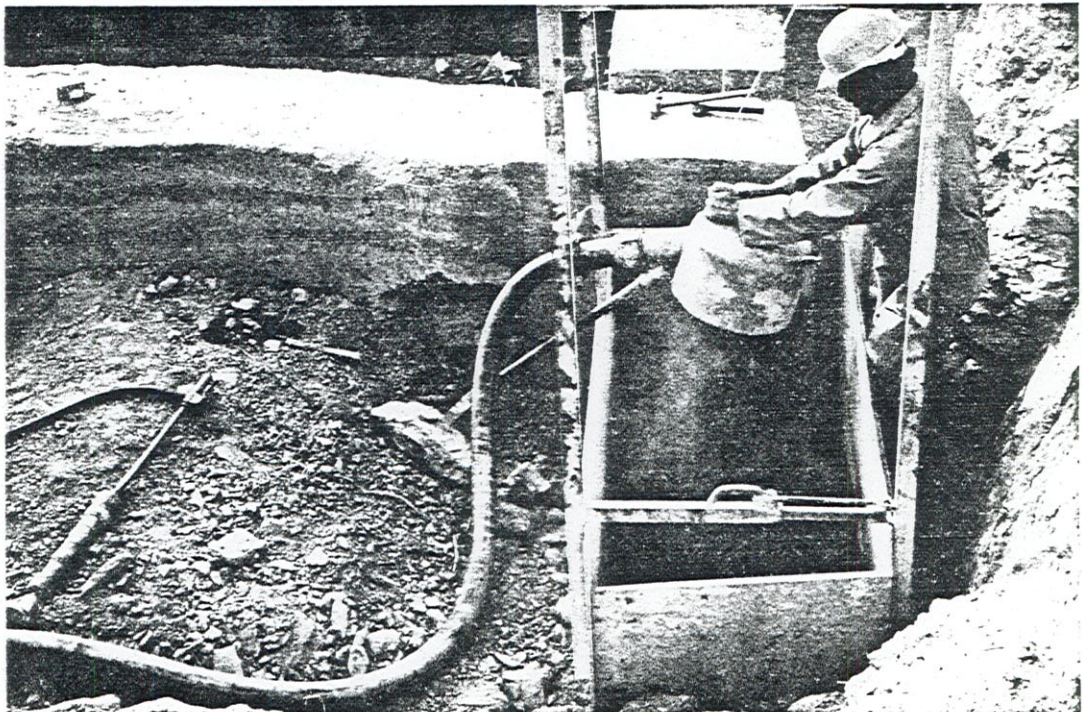
Entreprise : **RAMORA**, Marseille.

Architecte : François **GAUTIER**, Marseille

**CEYRESTE**, Bouches-du-Rhône, 1983

Entreprise **RAMORA**, Marseille

Architecte : François **GAUTIER**



Déverse de la terre à pisé à l'aide d'une pompe à béton  
adaptée par l'entreprise **RAMORA**

#### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE CRATerre  
CHANTIER RAMORA

© 1983

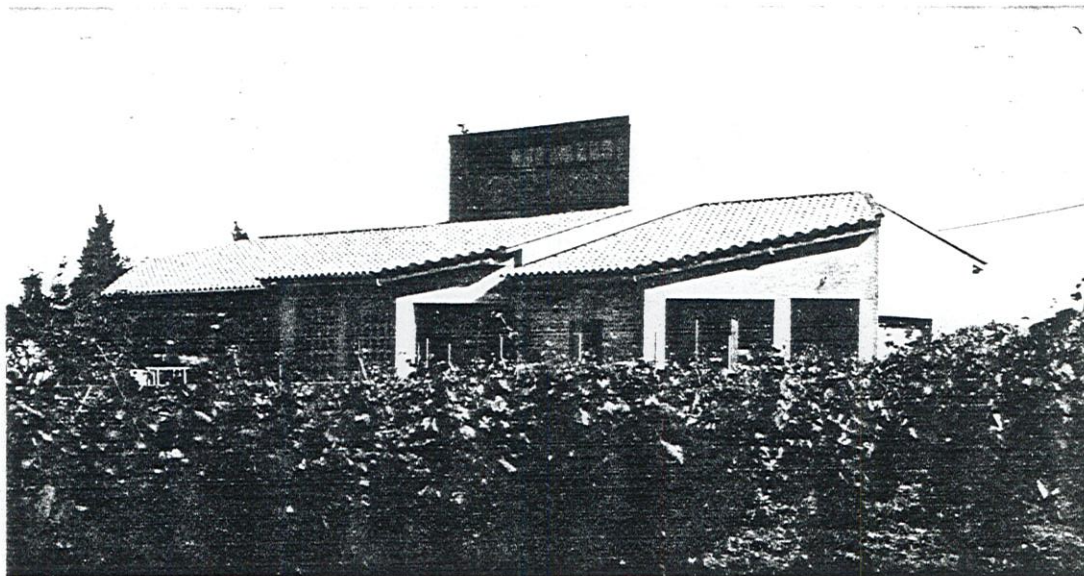
**ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE**

**CHANTIER EN BLOCS COMPRESSÉS**

**LE CASTELLET**, Var, 1983.

Régis Pierrot, architecte, Vitrolles -Bouches-du-Rhône

Association pour la défense des sites de la région de Bandol.



Maison bioclimatique en briques de terre stabilisée



**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE CRATerre  
CHANTIER M. GALIBERT

© 1983

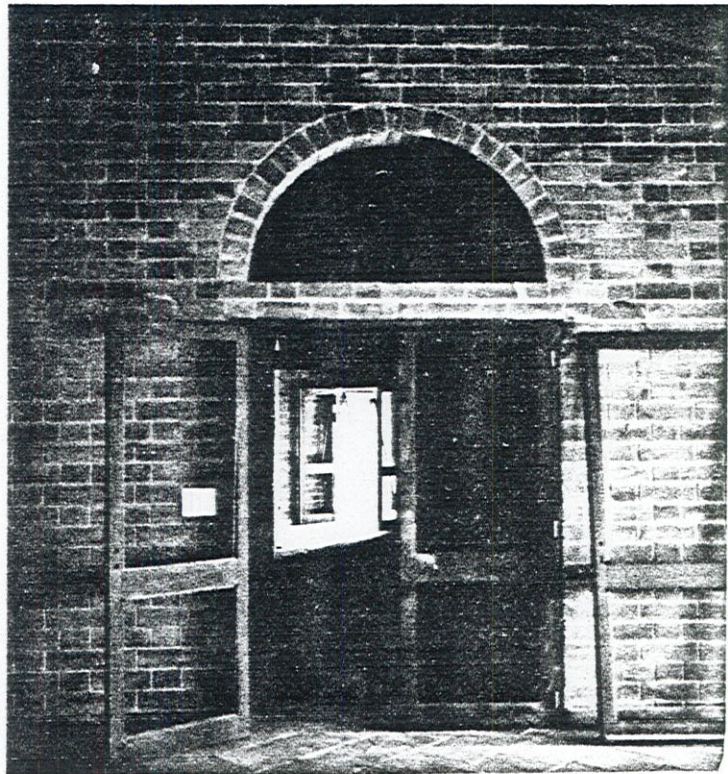
**ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE**

**CHANTIER EN BLOCS COMPRESSÉS**

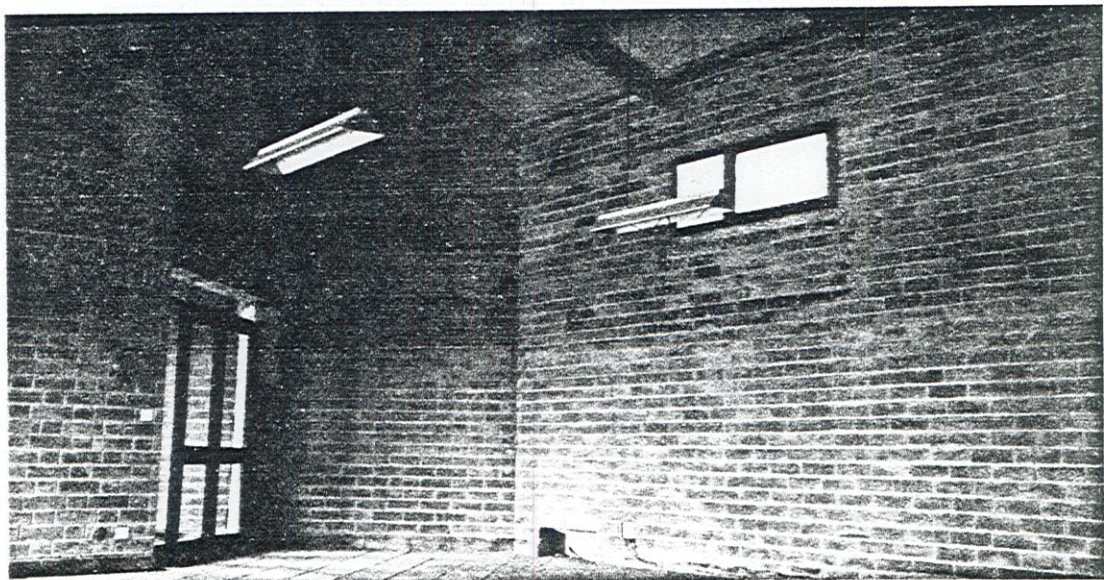
**LE CASTELLET**, Var, 1983

Architecte, Régis Pierrot, Vitrolles, Bouches-du-Rhône.

Association pour la défense des Sites de la Région de Bandol.



Aspects intérieurs du projet.



**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAÎTRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE CRATerre  
CHANTIER M. GALIBERT

1983

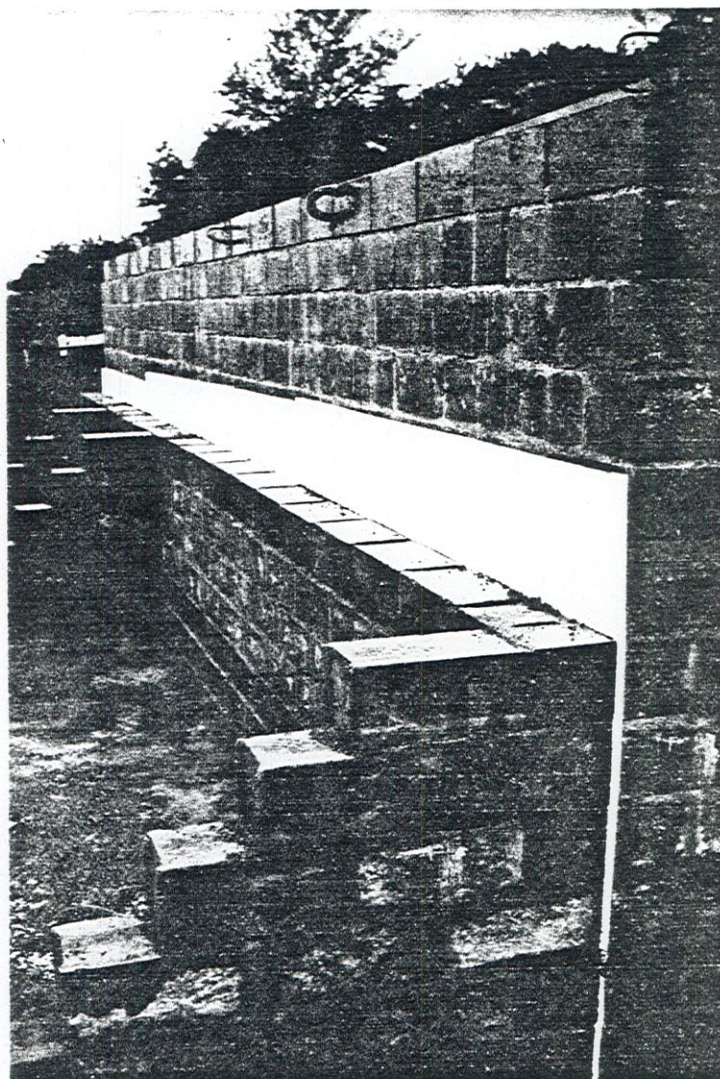
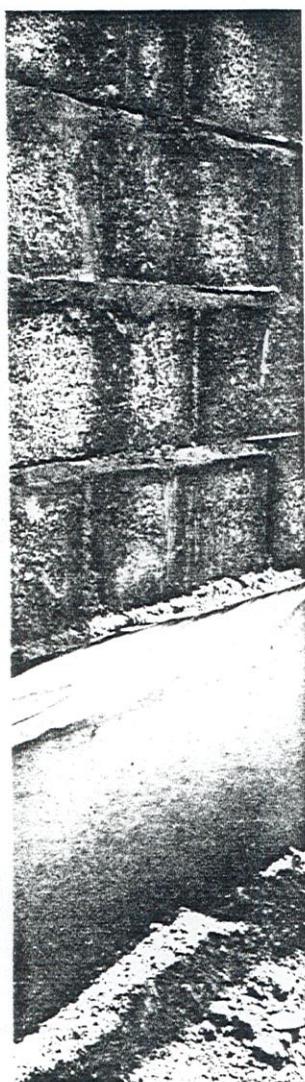
# ANNEXES

## ETUDE DE CAS : PROJETS D'ARCHITECTURE

### CHANTIER EN BLOCS COMPRESSÉS

#### VILLAGE TERRE DE L'ISLE D'ABEAU

Quartier Les Fougères, St-Bonnet  
38290 VILLEFONTAINE



Projet du groupe AURA, Jean-Jacques GAUCHER, PARIS.

### AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

ENQUETE CRATerre  
CHANTIER AURA

© 1983

## CARACTERISTIQUES DU MATERIAU



## CARACTERISTIQUES DU MATERIAU

### A.4. CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIAU TERRE

(d'après **Village Terre**, AGRA-CRATerre. Plan Construction, Paris, 1982, 202 p.)

Les nombreux résultats des différentes recherches menées dans le monde permettent de chiffrer avec une précision relative les caractéristiques du matériau terre.

Si les fascicules de "recommandations" commencent à circuler timidement, les "normes" par contre, sont quasiment inexistantes ou restent discrètes dans le domaine de la terre. Les organismes officiels, chargés de normaliser les caractéristiques des matériaux de construction, se trouvent quelque peu embarrassés devant ce matériau : en effet, la terre crue non stabilisée ne résiste à aucun de leurs essais standardisés, mais en dehors de leur laboratoire, dans des conditions réelles, elle résiste aux perturbations atmosphériques sévères pendant des siècles.

#### NOTES

1. Les chiffres indiqués dans les tableaux ci-dessous proviennent de sources fiables et officielles.

2. Les caractéristiques ont été subdivisées en classe A, B, C, D, qui ont une valeur préférentielle décroissante

A – excellent

C – moyen

B – Bon

D – faible

3. Les valeurs inscrites correspondent à des matériaux dont la production et la mise en œuvre ont été réalisées selon le code de bonne pratique.

4. Symboles : / / = pas applicable à ce matériau

( ) = valeur indicative

5. Les matériaux :

#### I. BLOCS COMPRESSES

1) Blocs pleins non stabilisés, compressés à 2 MN/m<sup>2</sup>

2) Blocs pleins stabilisés à 8 % de ciment, compressés à 2 - 4 MN/m<sup>2</sup>

3) Blocs pleins de latérite stabilisés à 12 à 19 % de chaux, compressés à 30 MN/m<sup>2</sup> et étuvés à 95 % HR sous pression, et 90° C.

#### II. ADOBE

4) Adobe non stabilisé

5) Adobe stabilisé à 5 - 8 % d'émulsions de bitume

#### III. PISÉ

6) Pisé non stabilisé compacté à 90 - 95 % Proctor standard

7) Pisé stabilisé à 8 % de ciment, compacté à 90 - 95 % Proctor standard



CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSES	I BLOCS COMPRESSES	II ADOUBE	III PISE	IV BRIQUES ETREES	V BRIQUES ETREES
STABILITE			A B C D	1 2 3	4 5	6 7	8 9	STA STA
RESISTANCE A LA COMPRESSION SEC A 28 JOURS + 40 % APRES 1 AN ) * + 50 % APRES 2 ANS) *	$\sigma_{28}$	MM/m <sup>2</sup>	>12 5 12 ? 5	D C A A *	D C	D C *	C C *	B
RESISTANCE A LA COMPRESSION HUMIDE A 28 JOURS 24 H DANS L'EAU	$\sigma_{h28}$	MM/m <sup>2</sup>	>2 1 2 0 0,5 0,5	D A A D 0 0,5	D D	D A /	/	A
RESISTANCE A LA TRACTION SEC A 28 JOURS ESSAIS BRESTEN	$\tau_{28}$	MM/m <sup>2</sup>	>2 1 2 0 0,5 0,5	C B		B		
RESISTANCE A LA TRACTION SEC A 28 JOURS SUR BARRETTTE	$\tau_{28}$	MM/m <sup>2</sup>	>2 1 2 0 0,5 0,5	C		C		
RESISTANCE A LA FLEXION SEC A 28 JOURS	$E_{28}$	MM/m <sup>2</sup>	>2 1 2 ENVIR. 0,5 0,5	C		C		
RESISTANCE AU CISAILLEMENT SEC A 28 JOURS	$\tau_{28}$	MM/m <sup>2</sup>	>2 1 2 ENVIR. 0,5 0,5	D		D		
Coefficient de Poisson	$\mu$		0 0,15 0,15 0,35 0,50 >0,5	B		B		

CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSES	I BLOCS COMPRESSES	II MOBRE	III PISE	IV BTA	V BRIQUES ETREES
STABILITE			A B C D	1 2 3 CRU STA STA	4 5 CRU STA	6 7 CRU STA	8 9 STA STA	
MODULE DE YOUNG	E	cm/m <sup>2</sup>	700 7.000	B	B	B		
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE	P	Kg/m <sup>3</sup>	> 2.200 1.700 2.200 1.700	B B A	C C	B B	B	D
COEFFICIENT D'IMMERSION JUSQU'A SATURATION		mm/m	0 0,5 0,5 1 2					C/D
RETRAIT SECHAGE ARTIFICIEL JUSQU'A STABILISATION		mm/m	0 1 2 1 2 5					C
RETRAIT DE SECHAGE		mm/m	< 0,2 0,2 1 2	B B	B B	C C	C	

CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSES	I BLOCS COMPRESSES	II AJOUE	III PISE	IV BTA	V BRIQUES ETIREES
STABILITE DE MURS			A B C 0	1 CRU 2 STA 3 STA	4 CRU 5 STA	6 CRU 7 STA	B STA	9 STA
RESISTANCE A L'IMPACT D'UN CORPS MOU HAUTEUR DE CHUTE D'UN SAC DE SABLE DE 27 KG	m	> 3	1 2 3	B < 1	B C	B C		
RESISTANCE A L'ECLASEMENT CHARGE EXCENTRIQUE VERTICALE COEFFICIENT DE REDUCTION POUR MURS AVEC FLANCHEMENT DE 7 A 8 EPAISSEUR 30 CM	R	> 0,50	0,40 0,50	0,30 0,40 0,20 0,30	B D	C C	A / /	
RESISTANCE A LA FLEXION PRESSION HORIZONTALE UNIFORME - VENT	MPa	5.10 <sup>-3</sup> 6.10 <sup>-3</sup>	4.10 <sup>-3</sup> 5.10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-3</sup> 4.10 <sup>-3</sup>	D A	D A		
RESISTANCE A UNE POUSSEE HORI- ZONTALE LOCALISEE PRESSION PAR UN DISQUE DE 2,5 CM DE DIAMETRE - MURS h = 2,50 M, L = 1,20 M, l = 30CM	N	> 450°		A	A	A		
COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE	mm/m°C	0,010	0,010	0,015		B	B	

CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSIS	I BLOCS COMPRESSES				II ADORE		III PISE		IV ETA	V BRIQUES ETRIRES
ETANCHITE			A B C D	1 CRU	2 STA	3 STA	4 CRU	5 STA	6 CRU	7 STA	8 STA	9 STA	
PERMEABILITE		m/sec.	$1 \times 10^{-8}$		B					B			
ABSORPTION D'EAU PAR LA FACE A CROUILLON DOIT ETRE INFERIEURE A 15 % D'APRES LES NORMES FRANCAISES		% (POIDS)	0 5 10 20		5 10 20	10 20	>20	A				A	
ABSORPTION TOTALE PAS DEMANDE PAR LES NORMES FRANCAISES		Kg/m3	0 7,5		5 10 20	10 20	>20					C	
SUSCEPTIBILITE A LA GELIVITE			PAS TRES PEU	D	B	A	TRES SENS.	D				A/B	
SUSCEPTIBILITE AUX EFFLORESCENCES			TRES PEU	D	B	A	TRES SENS.					B	
DURABILITE SOUS EXPOSITION AUX INTemperies SIMPLE MUR SANS PROTECTION			XCTI- LEHI	D	B	A	MOYEN FAIBLE	D				B	

CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSES				I BLOCS COMPRESSES			II AOUDE		III PISE		IV BTA	V BRIQUES ETIREES
			A	B	C	D	1 CRU	2 STA	3 STA	4 CRU	5 STA	6 CRU	7 STA		
CONFORT THERMIQUE															
CHALEUR SPECIFIQUE	C	KJ/Kg	1,00 0,05	ENVIR. 0,05	0,65 0,05		B	C		B	B				
COEFFICIENT DE CONDUCTION (DEPEND FORTEMENT DE LA DENSITE ACTUELLE (SE REFERER A CETTE LIGURE))	$\lambda$	W/m °C	0,23 0,46	0,46 0,81	0,81 0,93	0,93 1,04	C	C		B	C		C		
COEFFICIENT D'AMORTISSEMENT SUR DE 40 CM	m	%	< 5	5 10	10 30	> 30	B	B			B		B		
COEFFICIENT DE DECALAGE HORAIRE SUR DE 40 CM	d	h	> 12	10 12	5 10	< 5	B	B			B		B		

CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSE	I BLOCS COMPRESSES	II ANODE	III PISE	IV BTA	V BRIQUES ETRESES
CONFORT ACOUSTIQUE			A B C D	1 CRU 2 STA 3 STA	4 CRU 5 STA	6 CRU 7 STA	8 STA 9 STA	
COEFFICIENT D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE MUR DE 40 CM A 500 Hz		dB	>60 50 40 30	B B B		B	B	
COEFFICIENT D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE MUR DE 20 CM A 500 Hz		dB	60 50 40	C C C		C	C	

CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSIS	I BLOCS COMPRESSES	II MOULÉ	III PISE	IV BTA	V BRIQUES ETIRÉES
SECURITE AU FEU			A B C D	1 CRU 2 STA 3 STA	4 CRU 5 STA	6 CRU 7 STA	8 STA	9 STA
RESISTANCE AU FEU			EXCEL. BOH MOYEN FAIBLE	B B B	B	B		
INFLAMMABILITE								
VITESSE DE PROPAGATION DES FLAMMES								

Ref: "VILLAGE TERRE" AGRA/PLAN CONSTRUCTION. PARIS 1982.

copyright 83  
CRATerre

CARACTERISTIQUE	S	U	CLASSES	I BLOCS COMPRESSES	II AOUBE	III PISE	IV BIA	V BRIQUES ETIREES
DIVERS			A B C D	1 CRU 2 STA 3 STA	4 CRU 5 STA	6 CRU 7 STA	8 STA 9 STA	
COMPATIBILITE D'ENDUITS ADAPTES ACCROCHAGE NATUREL SUR LE MUR, SANS MOYENS MECANIQUES			EXCEL. BON MOYEN FAIBLE	C C B C	C C C C	B B C C	D D D D	B B A A
UNIFORMITE DES DIMENSIONS PRODUITS FINIS INDIVIDUELS			EXCEL. BON MOYEN FAIBLE	B B A A	C C C C	D D D D	C C C C	A A A A

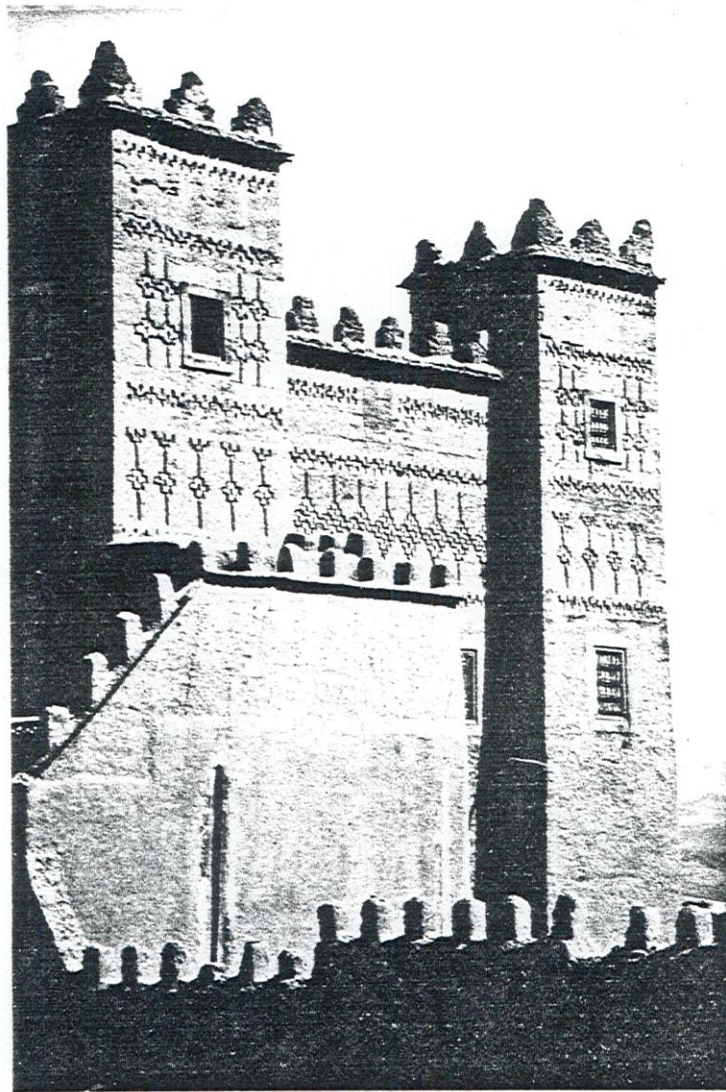
Ref: "VILLAGE TERRE" AGRA/ PLAN CONSTRUCTION. PARIS 1982.

copyright 83  
CKATerre



## BIBLIOGRAPHIE

### ORGANISMES ET PERSONNALITES



## ANNEXES

### BIBLIOGRAPHIE

#### A.5. BIBLIOGRAPHIE :

- **ADAM, A., La maison et le village dans quelques tribus de l'Anti-Atlas**, Collection Hespéris, Institut des Hautes-Etudes Marocaines N° XIII, Paris, 1951.  
Egalement dans : Hespéris, Archives Berbères et Bulletin de l'Institut des Hautes-Etudes Marocaines, tome XXXVII, 3°-4° Trim., Paris, 1950, pp. 289-362.
- **ASSERMOUH, A., Marrakech et ses douars spontanés.** Bulletin Economique et Social du Maroc, n° 118-119, juillet/décembre 1970, Rabat, pp. 81-97.
- **BEURRET, C, Haut-Atlas, paysages, architecture, vie et coutumes, objets populaires traditionnels.** Musée de Grenoble, 1980, 50 p.
- **BAUER, G., DETHIER, J., La Terre et le roseau.** Architecture d'Aujourd'hui n° 160, février/mars 1972, Paris, pp. 104-111.
- **CHEIKH, Y.H., Construction en terre au Maroc.** Mémoire de 3e cycle, Unité Pédagogique d'Architecture de Lyon, 1977.
- **C.S.T.B.-Paris, Recherche d'une conception économique d'un habitat traditionnel dans un pays en voie de développement. Application au Maroc.** Paris, C.S.T.B., 1982, 85 p.
- **DELEENHER, M., L'habitat précaire à Marrakech et dans sa zone périphérique.** Revue de Géographie du Maroc, n° 17, Rabat, 1970, pp. 43-50.
- **DETHIER, J., Le Maroc, du spontané au planifié.** Métropolis n° 10, novembre/décembre 1974.
- **FORNICHON, Les solutions en matière d'habitat économique.** Circonscription de l'Aménagement, texte ronéoté, Rabat, 1957.
- **GAUD, M., SICAUT, G., L'habitat indigène au Maroc.** Bulletin de l'Institut d'Hygiène du Maroc, Tome IV, Rabat, 1937, pp. 2-102.
- **HAMMOUDI, A., L'évolution de l'habitat dans la vallée du Draâ.** Revue de Géographie du Maroc, n° 18, Rabat, 1970, pp. 33-45.
- **HAROUCHE, A., Habitat et Société dans la vallée du Draâ.** Thèse 3ème cycle U.P.A.T., Toulouse, 1979.
- **HENSENS, J., BAUER, G., HAMBURGER, B., DETHIER, J., Rénovation de l'habitat de la vallée du Draâ,** Rabat, 1967.
- **HENSENS, J., Habitat rural traditionnel des oasis présahariens. Le Qsar, problèmes de rénovation.** Bulletin Economique et Social du Maroc, n° 114, juillet/septembre 1969, Rabat, pp. 83-107.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## ANNEXES

### BIBLIOGRAPHIE

- HENSENS, J., **Enquête nationale sur l'habitat rural traditionnel au Maroc.** Bulletin Economique et Social du Maroc, n° 118-119, juillet/décembre 1970, Rabat, pp. 99-115.
- HENSENS, J., **L'avenir des constructions en terre au Maroc.** C.E.R.F., Rabat, 1970, 7 p.
- HENSENS, J., **L'habitat économique au Maroc.** C.E.R.F., Rabat, 1971.
- HENSENS, J., **Note sur la nature des matériaux constitutifs de l'habitation.** C.E.R.F., Rabat, 1972.
- \* ● ICHTER, J.P., SASS, **Les Ksours de la vallée du Tafilalet.** Revue A + U, Revue Africaine d'Architecture et d'Urbanisme n° 1167, Rabat, 1967. \*
- JACQUES-MEUNIE, D., **Greniers collectifs.** Hespéris, Archives Berbères et Bulletin de l'Institut des Hautes-Etudes Marocaines, tome XXXVI, 1° et 2° Trim., Paris, 1949.
- JACQUES-MEUNIE, D., **Greniers-citadelles du Maroc.** Institut des Hautes-Etudes Marocaines, tome LII, Paris, 1951.
- JACQUES-MEUNIE, D., **Sites et forteresses de l'Atlas, monuments montagnards du Maroc, PARIS, 1951.**
- JACQUES-MEUNIE, D., **Architectures et habitats du Dadès,** Librairie Klincksieck, Paris, 1962, 127 p.
- KASBA.64 Study Group, NIJST, A.L.M.T., PRIEMUS, H., SWETS, H.L., IJZEREN J.J., **Living on the edge of the Sahara - a study of traditional forms of habitation and types of settlement in Morocco.** Government Publishing Office, La Hague, 1973.
- LANDAU, R., **The Kasbas of Southern Morocco.** Faber and Faber, Londres, 1969.
- L.P.E.E. - Casablanca - **La fabrication au Maroc des pisés stabilisés au ciment - guide pour la prospection, le choix des terres, la définition des conditions d'emploi.** L.P.E.E., Casablanca, 1955.
- MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, T.P. de Marrakech, **Etude des pisés.** C.E.R.F., Rabat, 1965.
- MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Rénovation de l'habitat de la vallée du Draâ.** C.E.R.F., Rabat, 1967.
- MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Etude d'une voûte en béton de terre stabilisé.** C.E.R.F., Rabat, 1968.
- MINISTERE DE L'INTERIEUR, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Recherches Technologiques Terre et roseau.** C.E.R.F., Rabat, 1968.

\* Voir bibliographie complémentaire page 207

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

**GAITerre**

## ANNEXES

### BIBLIOGRAPHIE

- **MINISTERE DE L'INTERIEUR**, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Rénovation de l'habitat traditionnel des vallées présahariennes**. C.E.R.F., Rabat, 1968.
- **MINISTERE DE L'INTERIEUR**, Aménagement du Territoire, **Préparation du Plan de Développement 1968-1972 - Habitat - Rapport**, Rabat, 1968, 6 p.
- **MINISTERE DE L'INTERIEUR**, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Rénovation de l'habitat de la vallée du Draâ dans le cadre du programme national de développement rural 1968-1972**. C.E.R.F., Rabat, 1968.
- **MINISTERE DE L'INTERIEUR**, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Habitat rural traditionnel du Draâ, tendances d'évolution**. Enquêtes, C.E.R.F., Rabat, 1969, 6 p.
- **MINISTRE DE L'INTERIEUR**, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Rénovation de l'Habitat traditionnel des vallées présahariennes, études opérationnelles - Méthodes**. C.E.R.F., Rabat, 1969, 4 p.
- **MINISTERE DE L'INTERIEUR**, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Rénovation de l'Habitat traditionnel du Draâ-Qsar de Tamezmonte**. C.E.R.F., Rabat, 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**, C.E.R.F., Rabat, 1969.
- **MINISTERE DE L'INTERIEUR**, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Essais de Laboratoire sur le B.T.S. employé au C.A.F.**, C.E.R.F., Rabat, 1969, 21 p.
- **MINISTERE DE L'INTERIEUR**, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Etude de B.T.S., Influence du dosage en ciment et du Taux de Compactage sur la résistance et la durabilité du B.T.S.**, C.E.R.F., Rabat, 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, 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**. C.E.R.F., Rabat, 1972.
- **MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS**, Circonscription de l'Urbanisme et de l'Habitat, **Maisons en terre pour Ouarzazate**. Rapport D.U.H. n° R.59, Marrakech, 1967.
- **MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**, OUAZZANI, R., **La construction en terre, note de synthèse**. M.H.A.T., Rabat, 1978.
- **MOINE, Ph., PRADEAU, D.**, **Eléments d'architecture adaptés au climat désertique en pays islamiques**. Mémoire de 3e cycle, Unité Pédagogique de Bordeaux, 1978.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## ANNEXES

### BIBLIOGRAPHIE

- **MONTAGNE, R., Une tribu berbère du Sud Marocain : Massat.** Hespéris, Archives Berbères et Bulletin de l'Institut des Hautes-Etudes Marocaines, tome IV, 4<sup>e</sup> Trim., Paris, 1924, pp. 357-403.
- **MONTAGNE, R., Un magasin collectif de l'Anti-Atlas : l'Agadar des Ikounka.** Hespéris, Archives Berbères et Bulletin de l'Institut des Hautes-Etudes Marocaines, tome IX, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> Trim., Paris, 1929, pp. 145-205.
- **MONTAGNE, R., Villages et Kasbas berbères.** Allan, Paris, 1930, 20 p.
- **NATAF, M., Matériaux marocains pour bétons légers et pour bétons économiques.** Mines et Géologie et Energie, n° 46, Rabat, 1979, pp. 203-207.
- **OUUGHIRI, 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 M.H.A.T., 6-7 juin 1980.**
- **PARIS, Dr. A., Documents d'architecture berbère, Sud de Marrakech.** Larosse, Paris, 1925, 57 p. Egalement dans Coll. Hespéris n° 11, Institut des Hautes-Etudes Marocaines, Paris, 1925.
- **TERRASSE, H., Kasbas berbères de l'Atlas et des Oasis.** Paris, 1938.
- **VÉRITÉ, J., Inventaire, protection et mise en valeur des Architectures traditionnelles du Sud Marocain - UNESCO,** Paris, 1977, 18 p.

#### Bibliographie complémentaire

- **ICHTER, J.P., SASS, H., Les "Ksour" du Tafilalt.** Revue a + u, Revue Africaine d'Architecture et d'Urbanisme n° 5, Rabat, 1967, pp. 35-49.
- **ICHTER, J.P., DURU, H., DECOVILLE, D., "Kasbas" des vallées présahariennes.** Revue a + u, Revue africaine d'Architecture et d'Urbanisme n° 5, Rabat, 1967, pp. 50-51.
- **ICHTER, J.P., Maison du Rif.** Revue a + u, Revue Africaine d'Architecture et d'Urbanisme n° 5, Rabat, 1967, pp. 52-54.
- **L.P.E.E. - Casablanca - Rapport sur le Programme d'Essais Préliminaires de Pisés Améliorés.** Casablanca, 5 mai 1977, 25 p.
- **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, 1955, 11 p.
- **MINISTERE DE L'INTERIEUR, Aménagement du Territoire, L.P.E.E. Casablanca, Mattei, O., Mariotti, M., Aménagement du Territoire, chantier de Berkane Zegzel, Construction de 400 logements - réalisation des agglomérés.** 1<sup>er</sup> rapport, Casablanca, 1968, 16 p. 2<sup>e</sup>me rapport, Casablanca, 1968, 13 p.
- **MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, Service de l'Urbanisme et de l'Habitat, Arrondissement T.P. de Marrakech. Résorption des Bidonvilles, programme 1962, Construction de 700 logements,** Marrakech, 20 novembre 1962, 37 p.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

REALISATION : **CRATerre** © 1983

**GAITerre**

## ANNEXES

### ORGANISMES ET PERSONNALITES

#### A.6: ORGANISMES

- **D.C.T.C.** : Direction du Contrôle Technique de la Construction,  
Rue de Figuig - Rabat.
- **D.C.T.C.** : Délégation régionale de Marrakech, E.R.A.C.-Tensift,  
Place du 16 novembre - Marrakech
- **D.R.H.A.T.** : Délégation Régionale de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire  
B.P. 26/S - Marrakech
- **D.R.H.A.T.** : Délégation Régionale de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire  
Ouarzazate.
- **D.U.H.** : Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat,  
8, rue de Figuig - Rabat.
- **E.M.I.E.** : Rue Abou Bakr Sedik - Marrakech.
- **Faculté des Sciences** : 28, rue Bayer - Rabat.
- **G.E.O.B.E.M.A.** : 63, Boulevard Abdellatif Ben Kaddour - Casablanca.
- **Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II** : Rabat
- **Institut de Géographie** : Rabat.
- **L.P.E.E.** : Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes,  
25, rue d'Azilal, B.P. 389 - Casablanca 01
- **L.P.E.E.** : Délégation régionale de Marrakech,  
Place du 16 novembre - Marrakech
- **M.H.A.T.** : Ministère de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire,  
B.P. Rabat - Chellah - Rabat.
- **O.R.M.V.A. (Haouz)** : Avenue Hassan II - Marrakech.
- **O.R.M.V.A.** : B.P. 29 - Ouarzazate
- **O.R.M.V.A.** : Tafilalet - Rachidia
- **O.R.M.V.A.** : Souss-Massa par Agadir

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## ANNEXES

### ORGANISMES ET PERSONNALITES

#### A.7. PERSONNALITÉS

- **ALIOUA, A.**  
Ingénieur D.C.T.C., 8, rue de Figuig - Rabat.
- **AZZOUZI, A.**  
Architecte D.R.H.A.T./M.R., Délégation de l'Habitat - Marrakech
- **BELKZIZ, Souad**  
Architecte, ORMVAH/MR, B.P. 22 - Marrakech
- **BENABDELJALIL, Abdelmoumen,**  
Architecte, Collectif d'Architecture, 174, Bd Zerktouni - Casablanca
- **BENYAHIA**  
Elève Ingénieur T.P.E. - Meknes
- **BENKIRANE, Saâd,**  
Architecte, Résidence El Mansour, 12, Boulevard My. Slimane - Rabat
- **BERTHEAS, Christian**  
Lot 17, Targa Zeddachia - Marrakech
- **BILLY WILLYS,**  
Architecte Décorateur, Quartier Sidi Bel Abbas - Marrakech
- **BOUALIL,**  
Ingénieur L.P.E.E., Agence de Marrakech, Place du 16 Novembre - Marrakech
- **BOULALI, Mohamed**  
Architecte, E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech
- **CHEKKOURI, Abdelkader,**  
Architecte, 19, rue de Yougoslavie - Marrakech
- **CHORFI, Abdeslam,**  
Architecte, 13, rue Moulay Rchid - Rabat
- **DELEENHER, Michel**  
Architecte D.R.H.A.T./M.R.  
B.P. 508 - Marrakech
- **DETHIER, Jean,**  
Architecte Conseil, Centre de Création Industrielle, Centre Georges Pompidou,  
Paris.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** © 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

## ANNEXES

### ORGANISMES ET PERSONNALITES

- **EL AWAD, Hafid,**  
Architecte, Collectif d'Architecture, 174, Boulevard Zerktouni - Casablanca.
- **EL BOUKFAOUI,**  
Architecte, E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech.
- **EL AMRANI,**  
Secrétaire Général du M.H.A.T. - B.P. Rabat-Chellah - Rabat.
- **HAROUCHE, Azzedine,**  
Architecte, 128, bld de la Gironde - Casablanca.
- **HENSENS, Jean,**  
M.H.A.T. B.P. Rabat - Chellah - Rabat
- **HMAMI, Jamaldine,**  
Architecte, E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech
- **ICHTER, Jean-Paul,**  
Architecte, E.N.I.S., Allée Christiani - Fès.
- **JALAL, Mustapha,**  
Adjoint Technique D.R.H.A.T Délégation de l'Habitat. B.P. 508 - Marrakech.
- **KABBAJ, M. Amine,**  
Architecte, E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech.
- **KERGREIS, Michel,**  
Architecte-urbaniste, Villa Ourida, Quartier Saadia - Marrakech.
- **LARAKI, Malak**  
Architecte, Résidence IMLIL - Avenue Echchouhada - Marrakech.
- **LATIFI, Abdelmalek,**  
Ingénieur d'Etat, E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech.
- **LIGNON, Christiaan,**  
Photographe, 26, Targa Zedaghia - Marrakech.
- **MASSON, Alain,**  
Directeur du Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement d'Aix-en-Provence,  
Avenue de l'Europe, B.P. 128, 13605 Aix-en-Provence Cedex.
- **M'BARKI,**  
Directeur D.C.T.C., M.H.A.T., 8, rue de Figuig - Rabat.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** ◦ 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**



## ANNEXES

### ORGANISMES ET PERSONNALITES

- **MDAGHRI, Alaoui,**  
Ingénieur D.C.T.C. M.H.A.T., 8, rue de Figuig - Rabat.
- **MOUYAL, Elie,**  
B.P. 744 - Marrakech.
- **NAFAKH-LAZRAQ, Mohamed Alami**  
Directeur de l'E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech.
- **NOUARI, L.,**  
Ingénieur L.P.E.E. - Laboratoire Central de Casablanca, 25, rue d'Azilal, B.P. 389  
Casablanca.
- **OUUGHIRI, N.,**  
Architecte Délégué M.H.A.T./MR D.R.H.A.T., Délégation de l'Habitat  
B.P. 508 - Marrakech.
- **SIJELMASSI, A.,**  
Architecte, Collectif d'Architecture, 174, boulevard Zerktouni - Casablanca.
- **TAJ.,**  
Architecte, E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech.
- **TILS.AGHANI,**  
Division Financière, E.R.A.C. - Tensift, Place du 16 novembre - Marrakech.
- **ZAGROUJ, Mamoun,**  
Architecte Délégué M.H.A.T./MR D.R.H.A.T. Délégation de l'Habitat  
Ouarzazate.

**AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE**

REALISATION : **CRATerre** • 1983

Projet d'une Opération Expérimentale en Terre à Marrakech.  
MAITRE D'OUVRAGE : E.R.A.C. - TENSIFT/M.H.A.T.  
Rexcoop - Plan Construction - Ministère des Relations extérieures.

**GAITerre**

PRIX MATERIAUX ( Avril 1983 )



ENQUETE ERAC

FABRIQUE :

1°/ Agglos porteurs, agglos de remplissage, hourdis tous modèles étuvés ou autoclavés.

TYPES

Agglos creux	0,20 X 0,20 X 0,50	)	Avec 6 alvéoles + une médiane.
	0,20 X 0,15 X 0,50	)	
	0,20 X 0,10 X 0,50	)	
	0,20 X 0,07 X 0,50	)	

HOURDIS

0,12 X 0,20 X 0,53  
 0,16 X 0,20 X 0,53  
 0,20 X 0,20 X 0,53  
 0,20 X 0,20 X 0,53

Poutrelles précontraintes = 13 cm de hauteur valable pour toutes les portées.

L'usine ou la station de malaxage est équipée d'une bétonnière de 0,500 L et d'une vibration mécanique interne.

2°/ Agglos creux porteur 0,20 X 0,20 X 0,50

Composition de la gâchée (50 unités)	Prix de revient	Pourcentage
Ciment 110 Kg	Ciment 2,6 X 500,00 = 1,30	50,38 %
Sable 400 Kg	Sable 8 Kg X 65,00 = 0,52	20,15 %
Gravette 580 Kg	Gravette 11,6 X 55,00 = 0,64	25,19 %
Eau 70 L	Eau $\frac{70 \times 0,50}{1000} = 0,0007$	0,27 %
Plastifiant 0,5 L Bv 40	Plastifiant $\frac{0,5 \times 7,00}{50} = 0,07$	2,71 %
	M.O. $\frac{90,00}{4000} = 0,0225$	0,87 %
		<u>100 %</u>
		2,53 DH

.../...

Agglo creux 0,15 X 0,20 X 0,50

<u>Composition de la gâchée</u> (77 unités)	<u>Prix sans bénéfice</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment 110 Kg	Ciment 1,68 Kg X 500 = 0,84	51,21 %
Sable 400 Kg	Sable 3,19 Kg X 65 = 0,33	20,12 %
Gravette 580 Kg	Gravette 7,53 Kg X 55 = 0,41	25,00 %
Plastifiant 0,5 BV 40	M.O. $\frac{90,00}{5180} = 0,0146$	0,89 %
Eau 70 L	Plastifiant $\frac{0,50 \times 7,00}{77} = 0,045$	2,74 %
	Eau $\frac{70 \times 0,50}{1000} : 77 = \frac{0,0004}{1,64 \text{ DHS}}$	$\frac{0,024}{100} \%$

Agglos creux de 0,10 X 0,20 X 0,50

<u>Composition de la gâchée</u> (84 unités)	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment 110 Kg	Ciment 1,30 Kg X 500 = 0,65	46,77 %
Sable 400 Kg	Sable 4,76 Kg X 65,00 = 0,309	22,23 %
Gravette 580 Kg	Gravette 6,90 Kg X 55,00 = 0,379	27,26 %
Eau 70 L	Eau $\frac{70 \times 0,50}{1000} = \frac{0,35}{84} = 0,004$	0,30 %
Plastifiant 0,5 L BV 40	Plastifiant $\frac{0,5L \times 7,00}{84} = 0,041$	2,95 %
	M.O. $\frac{90,00}{6720} = \frac{0,0134}{1,39 \text{ DHS}}$	$\frac{0,96}{100} \%$

Agglo creux de 0,07 X 0,20 X 0,50

<u>Composition de la gâchée</u> (97 unités)	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment 110 Kg	Ciment 1,02 Kg X 500,00 = 0,51	42,74 %
Sable 400 Kg	Sable 4,39 Kg X 65,00 = 0,285	23,85 %
Gravette 580 Kg	Gravette 6,37 Kg X 55,00 = 0,350	29,33 %
Eau 70 L	Eau $\frac{70L \times 0,50}{1000} : 97 = 0,0004$	0,033 %
Plastifiant 0,5 L BV 40	M.O. $\frac{90,00}{7280} = 0,01236$	1,03 %
	Plastifiant $\frac{0,50 \times 7,00}{97} =$	
	$\frac{0,036}{1,193 \text{ DHS}}$	$\frac{3,02}{100} \%$

3°/ HOURDIS

Hourdis 0,12 X 0,20 X 0,50

Une gâchée de 500 litres  
fournit 115 unités  
Composition

Ciment : 130 Kg  
Sable : 400 Kg  
Gravette : 580 Kg  
Eau : 70L  
Plastifiants: 0,5 L BV 40.

	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment	1,13 Kg X 500,00 = 0,565	50,90 %
Sable	3,47 Kg X 65,00 = 0,223	20,31 %
Gravette	5,04 Kg X 55,00 = 0,277	24,97 %
Eau	<u>70L X 0,50</u> 1000 =	
	<u>0,035</u> 115 = 0,0003	0,027 %
Plastifi- ant	<u>0,50 X 7,00</u> 115 = 0,0304	2,74 %
M.O.	<u>90,00</u> 7.000 = 0,0128	1,15 %
	<u>1,110 DH</u>	<u>100 %</u>

Hourdis de 16 X 0,20 X 0,50

Composition de la gâchée  
(90 unités)

Ciment : 130 Kg  
Sable : 400 Kg  
Gravette : 580 Kg  
Eau : 70 L  
Plastifiants: 0,50 L BV 40

	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment	1,44 Kg X 500,00 = 0,72	50,73 %
Sable	4,44 Kg X 65,00 = 0,288	20,30 %
Gravette	6,44 Kg X 0,55 = 0,354	24,95 %
Eau	<u>70 X 0,5/90</u> 1000 = 0,0003	0,021%
Plasti- fiant	<u>0,5 X 7,00</u> 90 = 0,0388	2,73 %
M.O.	<u>90,00</u> 5.000 = 0,018	<u>1,26 %</u>
	<u>1,419 DH</u>	<u>100 %</u>

Hourdis de 0,20 X 0,20 X 0,50

Composition de la gâchée  
(80 unités)

Ciment : 130 Kg  
Sable : 400 Kg  
Gravette : 580 Kg  
Eau : 70 L  
Plastifiants: 0,50 L BV 40

	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment	1,62 Kg X 500,00 = 0,81	50,69 %
Sable	5,00 Kg X 65,00 = 0,325	20,34 %
Gravette	7,25 Kg X 55,00 = 0,398	24,90 %
Eau	<u>70 L X 0,50 : 80</u> 1000 = 0,0004	0,025%
Plasti- fiant	<u>0,50 X 7,00 : 80</u> = 0,043	2,69 %
M.O.	<u>90,00</u> 4.000 = 0,0225	<u>1,40 %</u>
	<u>1,608 DH</u>	<u>100 %</u>

Hourdis de 0,25 X 0,20 X 0,50

<u>Composition de la gâchée</u> (55 unités)		<u>Prix de revient</u>		<u>Pourcentage</u>
Ciment	130 Kg	Ciment	2,36 Kg X 500 = 1,18 Kg	50,86 %
Sable	400 Kg	Sable	7,27 Kg X 65 = 0,47	20,25 %
Gravette	580 Kg	Gravette	10,54 Kg X 55 = 0,579	24,95 %
Eau	70 L	Eau	70 X 0,50 = 0,0006	0,025%
Plastifiant	0,5 L BV 40		<u>1000/55</u>	
		Plasti-		
		fiant	0,5 X 7,00 = 0,063	2,74 %
			<u>55</u>	
		M.O.	90,00 = 0,030	1,29 %
			<u>3000</u>	<u>100 %</u>
				<u>2,32 DH</u>

Fabrication de poutrelles de 13 Cm de hauteur valables pour toutes les portées (gravette employée : 3/8 + 8/13).

<u>Composition de la gâchée</u> <u>qui fournit 56,25 ml</u>		<u>Prix du mètre</u> <u>linéaire</u>		<u>Pourcentage</u>
Ciment	130 Kg	Ciment	2,31 X 500,00 = 1,155	47,14 %
Sable	400 Kg	Sable	7,11 X 65,00 = 0,46	18,77 %
Gravette	580 Kg	Gravette	10,31 X 65,00 = 0,67	27,34 %
Eau	70 L	Eau	70 X 0,50/56,25 = 0,0006	0,024%
Plastifiant	0,5 L BV 40		<u>1000</u>	
		Plasti-		
		fiant	0,5 X 7,00 = 0,062	2,53 %
			<u>56,25</u>	
		M.O.	161,12 = 0,119	4,82 %
			<u>1350,00</u>	<u>100 %</u>
				<u>2,466 DH</u>

Le mètre linéaire coute environ 8,00 DHS d'armature.

Prix total du mètre linéaire de poutrelle :

Matériaux et M.O.	2,46
Armatures	8,00
	<hr/>
	10,46 DHS.

.../...

ERAC-TENSIFT

Pour réaliser 1350 ml par jour d'armatures, poutrelles, il faut une équipe de :

5 journées de 9 H à 2,70 l'heure = 121,50  
 1 journée de machinistes à 4H l'heure = 36,00

---

157,50

C.N.S.S. - 16 %

23,62

---

161,12

La S.B.B.M. se ravitaille de matériaux locaux à l'exception de l'acier qui est importé.

Elle achète le ciment Portland 400 chez Amar et les produits suivant chez MAGRAVE & BELKHALFI :

Sable 40,00 DH M3 + 25,00 DHS transport.  
 Gravette 3/8 30,00 DH M3 + 25,00 DHS transport.  
 Gravette 8/15 42,00 DH M3 + 25,00 DHS transport.

Hors taxe.

Elle vend ses produits finis à l'usine.

- Plancher 12 + 4 cm = 42,39 DH M2 Hors taxe.  
 - Plancher 16 + 5 cm = 44,42 DH M2 Hors taxe.  
 - Plancher 20 + 5 cm = 60,00 DH M2 Hors taxe.  
 - Plancher 25 + 5 cm = 67,00 DH M2 Hors taxe.

NOTA :

Les prix de revient des aggles et hourdis sont brut. Ils ne comportent ni bénéfice ni taxes sur le bénéfice, ni taxes sur le chiffre d'affaire, ni amortissement du matériel.

PRODUCTION JOURNALIERE.-

<u>Aggles</u>	0,07	---	7,280	<u>Hourdis</u>	0,12 =	7 000	<u>Poutrelles</u>
	0,10	---	6720		0,16 =	5 000	
	0,15	---	6160		0,20 =	4 000	1350 ml par jour
	0,20	---	4 000.		0,25 =	3 000	toutes dimen-
							sions.

Route d'Ait Ourir

Prix des matériaux bruts sans bénéfice ni amortissement du matériel.

1°/ Agglo porteur de 0,20 X 0,20 X 20

Résistance au-delà de 60 Bars

Composition granulométrique

Ciment 30 Kg ) Une gâchée  
Sable 120 Kg ) donne 14  
Gravette 180 Kg (agglos  
Eau 20 L )  
Plastifiant Néant )

Prix

Ciment 2,14 Kg X 500,00 = 1,07  
Sable 8,57 Kg X 65,92 = 0,5649  
Gravette 12,87 X 65,92 = 0,8483  
Eau 20L X 0,50 / 14 = 0,0007  
1000

Plastifiant Néant  
M.O. 219,00  
4.000

Pourcentage

42,12 %  
22,24 %  
33,39 %  
0,27 %

2,15 %

100 %

2,54 DH l'unité

Agglo 0,20 X 0,20 X 0,40 (15 agglos)

Composition

Ciment 30 L  
Sable 120 Kg  
Gravette 180 Kg  
Eau 20 L  
Plastifiant Néant

Prix

Ciment 2 Kg X 500 = 1,00  
Sable 8 Kg X 65,92 = 0,52  
Gravette 12 Kg X 65,92 = 0,79  
Eau 20 L X 0,50 / 15 = 0,0006  
1000

Plastifiant -  
M.O. 219,00 =  
4.000

Pourcentage

42,37 %  
22,04 %  
33,47 %  
0,062 %

2,11 %

100 %

0,05  
2,36 DH



Agglo 0,15 X 0,20 X 0,40 (20 unités)

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment	30 Kg	
Sable	120 Kg	
Gravette	180 Kg	
Eau	20 L	
Plastifiant	-	
	1,5 Kg X 500	0,75
	4,00 Kg X 65,92	0,26
	9,00 Kg X 65,92	0,59
	20 L X 0,50 / 20	0,0005
	<u>1000</u>	
Plastifiant	-	
M.O.	219,00	0,0165
	<u>6.000</u>	<u>1,636 DM</u>
		<u>2,23 %</u>
		<u>100 %</u>

Agglo 0,10 = 0,10 X 0,20 X 0,40 (31 unités)

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment	30 Kg	
Sable	120 Kg	
Gravette	180 Kg	
Eau	20 L	
Plastifiant	-	
	0,91 Kg X 500,00	0,453
	3,63 Kg X 65,92	0,239
	5,45 X 65,92	0,359
	20 X 0,50 / 31	0,0003
	<u>1000</u>	
M.O.	219	0,027
	<u>8.000</u>	<u>1,08 DM</u>
		<u>2,5 %</u>
		<u>100 %</u>

Agglo 0,07 - 0,07 X 20 X 40

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment 30 Kg	0,88 Kg X 500	42,71 %
Sable 120 Kg	3,5 Kg X 65,92	22,33 %
Gravette 180 Kg	5,29 X 65,92	33 %
Eau 20 L	20 X 0,50 : 34	0,029%
Plastifiant -	<u>1000</u>	
	219,00	
M.O.	<u>10 000</u>	
	0,02	1,94 %
	<u>1,03 DH</u>	<u>100 %</u>

Agglo de remplissage

1°/ Agglo 0,20 X 0,20 X 0,50

Résistance 72 Bars

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment 30 Kg )	1,88 X 0,500	42,34 %
Sable 120 Kg )	7,5 Kg X 65,92	22,07 %
Gravette 180 Kg ( 16 agglo)	11,25 X 65,92	33,33 %
Eau 20 L )	20 X 0,50 : 16	0,027%
Plastifiant - )	<u>1000</u>	
	219,00	
M.O.	<u>4 000</u>	
	0,054	2,43 %
	<u>2,22 DM</u>	<u>100 %</u>

....

Agglo 0,20 X 0,20 X 0,40

Composition

Ciment 30 Kg )  
 Sable 120 Kg )  
 Gravette 180 Kg ( 18  
 Eau 20 L ) agglos  
 Plastifiant - )

Prix

1,66 X 0,500  
 6,6 X 65,92  
 10 Kg X 65,92  
 20 X 0,50 : 18  
1000  
 219  
4.000

Ciment  
 Sable  
 Gravette  
 Eau  
 M.O.

41,86 %  
 31,99 %  
 33,31 %  
 0,030 %  
 2,73 %

Percentage

1,978 DH

100 %

Agglo 20 X 0,15 X 0,40

Composition

Ciment 30 Kg )  
 Sable 120 Kg )  
 Gravette 180 Kg ( 22  
 Eau 20 L ) agglos  
 Plastifiant - )

Prix

1,36 X 0,500  
 5,45 X 65,92  
 8,18 X 65,92  
 20 X 0,5 : 22  
1000  
 219,00  
6.000

Ciment  
 Sable  
 Gravette  
 Eau  
 M.O.

42,13 %  
 22,24 %  
 33,33 %

Percentage

0,0365

2,26 %

1,614 DH

100 %

Agglo 0,10 X 0,20 X 0,40

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment 30 Kg )	0,90 X 0,500	41,86 %
Sable 120 Kg )	3,63 Kg X 65,92	22,23 %
Gravette 180 Kg (33 agglos	5,45 Kg X 65,92	33,39 %
Eau 20 L )	20 X 0,50 : 33	0,028 %
Plastifiant - )	1000	
M.O.	219,00	2,51 %
	<u>8 000</u>	<u>100 %</u>
	0,027	
	<u>1,075 DH</u>	

Agglo de 0,7 X 0,20 X 40

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>	<u>Pourcentage</u>
Ciment 30 Kg )	0,83 X 0,500	42,13 %
Sable 120 Kg )	3,33 Kg X 65,92	22,23 %
Gravette 180 Kg (36 agglos	5,00 Kg X 65,92	33,40 %
Eau 20 L )	20 L X 0,50 : 36	0,027 %
Plastifiant - )	1000	
M.O.	219,00	2,22 %
	<u>10 000</u>	<u>100 %</u>
	0,0219	
	<u>0,9850 DH</u>	

.../...

Hourdis - Type DAVUM - ou traditionnel

Hourdis 0,12 X 0,20 X 0,50

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>		<u>Pourcentage</u>
Ciment	30 Kg )	1,36 X 0,5	0,68
Sable	120 Kg )	5,45 X 65,92	0,359
Gravette	180 Kg (22 hourdis	8,18 Kg X 65,92	0,539
Eau	20 L )	20 X 0,50 : 22	0,00045
Plastifiant	- )	1 000	
		M.O.	2,26 %
			<hr/>
			100 %

Hourdis 0,15 X 0,20 X 0,50

<u>Composition</u>	<u>Prix</u>		<u>Pourcentage</u>
Ci. mt	30 Kg )	1,50 X 0,5	0,75
Sable	120 Kg )	6,00 X 65,92	0,395
Gravette	180 Kg (20 hourdis	9,00 X 65,92	0,593
Eau	20 L )	20 X 0,5 : 20	0,0005
Plastifiant	- )	1 000	
		M.O.	2,47 %
			<hr/>
			100 %

Hourda 0,20 X 0,20 X 0,50

Composition

Ciment 30 Kg )  
 Sable 120 Kg )  
 Gravette 180 Kg (17 hourdis  
 Eau 20 L )  
 Plastifiant - )

Prix

Ciment 1,76 Kg X 0,500  
 Sable 7,05 Kg X 65,92  
 Gravette 10,58 Kg X 65,92  
 Eau 20 L X 0,50 : 17  
 1000

Plastifiant -  
 M.O. 219,00  
 4 500

= 0,88  
 = 0,46  
 = 0,69  
 = 0,0006  
 = 0,048  
 2,078 DH

Pourcentage

42,34 %  
 22,13 %  
 33,20 %  
 0,029 %  
 2,30 %  
 100 %

Hourda 0,20 X 25 X 0,50

Composition

Ciment 30 Kg )  
 Sable 120 Kg )  
 Gravette 180 Kg (14 hourdis  
 Eau 20 L )  
 Plastifiant - )

Prix

Ciment 2,14 Kg X 0,500  
 Sable 8,57 Kg X 65,92  
 Gravette 12,85 Kg X 65,92  
 Eau 20 L X 0,5 : 14  
 1000

M.O. 219,00  
 3 600

= 1,07  
 = 0,56  
 = 0,84  
 = 0,0007  
 = 0,06  
 2,53 DH

Pourcentage

42,29 %  
 22,13 %  
 33,20 %  
 0,027 %  
 2,37 %  
 100 %

Fabrication poutrelles procédé DAVUM - Talonnette de 4 cm - Hauteur 12 cm tous les modèles :

M.O. = Prix au mètre linéaire.

Une équipe de 6 ouvriers 9H par jour.

Le prix de l'heure est de 3,25 DH.

Une équipe de 6 ouvriers (travaux manuels) réalisent 1 500 Ml par jour.

Equipe = 6 X 9 X 3,25 = 175,50 DH

C.N.S.S. = 16 % = 28,08

Prix au mètre linéaire (M.O.) 203,58 pour 1 500 Ml poutrelles (coulage sur moules).

$\frac{203,58}{1 500}$  = 0,135 le Ml - tous les modèles.

Prix au mètre linéaire (12) 1 gâchée sur poutrelles béton à 350.

Composition dosage à 350 Kg

Ciment 50 Kg )  
 Sable 50 Kg ) 20 Ml  
 Gravette 50 Kg ( poutrelles  
 Eau 20 L )

Prix de revient

Ciment 2,5 Kg X 500,00 = 1,25  
 Sable 2,5 Kg X 65,92 = 0,16  
 Gravette 0,8 25,00 Kg X 65,92 = 0,16  
 Eau 20 X 0,15 : 20 = 0,0005  
 1000

Pourcentage

67 %  
 8,6 %  
 8,6 %  
 0,027 %

.../...

M.O.	<u>2,70</u>	=	0,135	7,25 %
	20			
			<u>1,865 DH</u>	100 %

Prix de l'armature contenue dans un mètre linéaire poutrelle toutes dimensions = 8,00 DH.  
 Prix de revient du mètre linéaire de poutrelle procédé DAVUM =

Matériau + M.O.	=	1,86
Ferraillage	=	8,00
		<u>9,86 DH</u>

Pour les poutrelles, DAVUM emploie 4 modèles.

Poutrelles de 12 cm de hauteur pesant	1,500 Kg ml
" de 15 cm	1,840 Kg ml
" de 20 cm	2,280 Kg ml
" de 25 cm	2,820 Kg ml

Le prix d'un mètre linéaire DAVUM est de 8 DH confectionné à l'usine.

- Prix de revient du mètre linéaire en béton	=	1,86
- Prix de revient d'un mètre linéaire d'armature sous treillis soudés	=	8,00
		<u>9,86 DH</u>

o o o / o o o



Prix des matériaux livrés à l'usine hors taxes.

- Sable	43,12 m3	Transport	22,80 m3 DH =	65,92
- Gravette	43,12 m3	Transport	22,80 m3 DH =	65,92
- Ciment 325	500,00 m3	la tonne livré en vrac./	Y compris taxe.	

Prix du sable :  
et Gravette

43,12 m3  
 22,80 m3  
65,92  
 11,20 (taxes 77 %)  
77,12 DH/M3.

Ciment AMAR en vrac livré à l'usine y compris taxe = 500,00.

NOTA : Le prix de revient ne comporte ni bénéfice, ni taxes, ni amortissement du matériel.

NOTA : Le prix du matériau, en particulier :

Prix du plancher - Procédé DAVUM .

Hauteur	--	12 + 4 cm	_____	39,50 m2
		15 + 4 cm	_____	41,50 m2
		20 + 5 cm	_____	46,00 m2
		25 + 5 cm	_____	60,00 m2

..../....



Fait de main d'oeuvre et matériaux dans la Province de MARRAKECH.

. MAIN D'OEUVRE.

- Régime général :

S.M.I.G. = 2,72 Dh l'heure de travail.

Ouvrier ordinaire	2,72 Dh x 8 h	soit	21,76 Dh	par jour
Compagnon	35,00 Dh x 26 h	"	910,00	"
			120,00	" par mois.
Chef d'Equipe	50,00 Dh x 26 h	"	1 300,00	" " "
			à 1 500,00	" " "
Chef de chantier			2 500,00	
			à 4 000,00	" " "
Conducteur de travaux			4 500,00	
			à 7 000,00	" " "

- Charges sociales : C.N.S.S.

10 % pour les allocations familiales.

3,80 % pour les autres prestations . indemnité de maladie  
. indemnité d'hygiène  
. pension de vieillesse  
. indemnité de naissance  
etc...

1 % pour l'office de la formation professionnelle.

14,80 % à la charge de l'entrepreneur.

1,90 % à la charge de l'ouvrier.

16,70 % total des prestations à verser à la C.N.S.S.

- Assurance pour accident de travail :

Cotisation pour tous les salaires, journaliers, mensuels, annuels.

TAUX = 7,6 %

TAXES = 25 %.

- Assurance d'un ouvrier pour une journée de travail :

$2,72 \times 8 = 21,76 \times (7,6 \% + 25 \%) = 2,06 \text{ Dh par jour.}$

- Prix énergie :

Electricité	1e Kwatt/heure	0,61 T.T.C.
Essence ordinaire	1e litre à la pompe	4,56 "
Essence Super	" "	4,76 "
Gas-oil	" "	2,61 "
Huile lubrifiante 40	" "	8,00 "

. MATERIAUX

- Transport matériaux par O.N.T. et privé de BALLASTIERE à MARRAKECH :

Sable 0/5	25,00 Dh /m <sup>3</sup>
Gravette 5/15	25,00 Dh /m <sup>3</sup>
Gravette 16/25	25,00 Dh /m <sup>3</sup>
Tout-venant	25,00 Dh /m <sup>3</sup>
Terre argileuse	22,00 à 23,00 Dh /m <sup>3</sup> .

- Prix des matériaux :

Sable .....	22,00 Dh	le m <sup>3</sup>	H.T.
Tout-venant .....	23,00 Dh	"	"
Chaux hydraulique .....	319,80 Dh	la tonne	H.T.
Plâtre de construction .....	250,00 Dh	" "	"
Plâtre fin .....	250,00 Dh	" "	"
Ciment CPAZ classe 325 .....	511,58 Dh	" "	"
Ciment CPAZ classe 250 .....	476,69 Dh	" "	"

- Prix des céramiques :

Briqueterie marocaine de MARRAKECH

1/ Brigues pleines :

0,06 x 0,11 x 0,22

Brigues perforées :

0,06 x 0,11 x 0,22

2/ Brigues creuses :

( 3 trous) 0,05 x 0,15 x 0,28

( 6 trous) 0,07 x 0,20 x 0,28

( 8 trous) 0,10<sup>5</sup> x 0,20 x 0,28

(12 trous) 0,15 x 0,20 x 0,28

DCM2 à joint de rupture (16 trous)

0,22 x 0,15 x 0,28

3/ Hourdis :

0,30 x 0,12 x 0,25

0,30 x 0,15 x 0,25

0,30 x 0,20 x 0,25

0,30 x 0,25 x 0,25

	Prix en Dh H.T.	Poids en Kg
	0,91	
	0,86	
	0,57 <sup>2</sup>	2,736
	0,85	5,058
	0,88 <sup>8</sup>	6,058
	1,34	8,494
	1,60 <sup>6</sup>	10,706
	1,45	6,941
	1,53	7,641
	1,53	7,941
	2,70	10,706

- Prix de revient du Kg d'argile

. Extraction, transport, amortissement matériel, M.O. chauffeurs, charges (carrière)..... 0,0208 Dh

. Pétrissage, découpage, etc, M.O. (sec) 0,1002 Dh

. Cuisson et stockage (cuit)..... 0,0828 Dh

La cuisson se fait à 850° (insuffisante)

0,2038 Dh

La briqueterie accorde les régimes suivants :

- 1/ Pour les entrepreneurs : 10 %
- 2/ Pour les particuliers : 7 %
- 3/ Pour les concessionnaires: 15 %.

- Briqueterie tuilerie du TENSIF-MARRAKECH :

Production journalière 35 à 40 tonnes.

2 fours fonctionnent au grignon (pulpe et noyau d'olive).

Effectif : 125 hommes.

Prix des matériaux en Dh H.T.

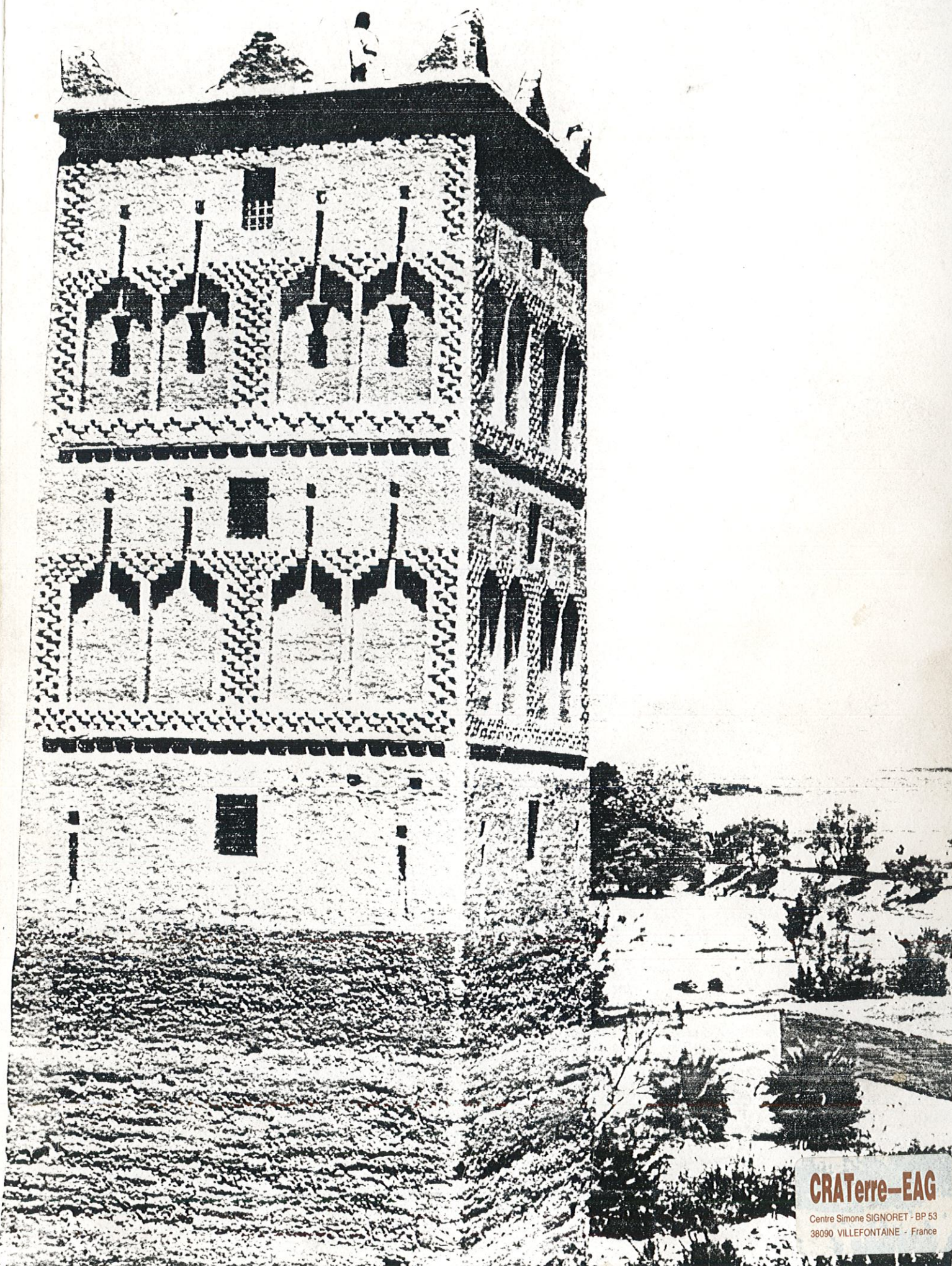
. Briques pleines	les 1 000 :	517,10
. Briques pleines perforées	"	770,90
. Briques pleines à parement	"	458,10
. Briques creuses :		
3 trous (0,05 x 0,15 x 0,28)	"	557,25
6 trous (0,07 x 0,20 x 0,28)	"	782,05
8 trous (0,10 <sup>5</sup> x 0,20 x 0,28)	"	822,20
12 trous (0,15 x 0,20 x 0,28)	"	1 300,00
DCM2 16 trous à joint de rupture (0,22 x 0,15 x 0,28)	"	1 480,35
. Hourdis :		
0,12	"	1 325,50
0,15	"	1 388,00
0,20	"	1 435,60
0,25		Néant
hourdis plats de 3 cm d'épaisseur	"	1 467,10

Le prix de revient ne peut être calculé par la direction de l'usine.

# SOMMAIRE

<b>CHAPITRE 1.</b>	<b>• AIDE A LA CONCEPTION ARCHITECTURALE</b>	
1.	<b>• SOURCES DOCUMENTAIRES A CONSULTER</b>	
1.1.	<b>• Construire en Terre</b>	6
1.2.	<b>• Village Terre</b>	7
2.	<b>• REGLES ESSENTIELLES DE L'ART DE BATIR EN TERRE</b>	8
2.1.	<b>• Règles essentielles</b>	
2.2.	<b>• Quelques précisions méthodologiques</b>	
	• Les points névralgiques	
	• Principaux agents de dégradation	
	• L'importance de l'observation pathologique	
2.3.	<b>• Connaître le matériau terre crue</b>	
	• Composition	11
	• Caractéristiques	13
	• Stabilisation	17
	• Normes, D.T.U.	20
2.4.	<b>• Conception architecturale adaptée au matériau terre</b>	21
3.	<b>• DÉGRADATIONS TYPÉES : CAUSES, FORMES ET TRAITEMENT</b>	
3.1.	<b>• Les actions des principaux agents de dégradation</b>	23
	• Les actions les plus typées de l'eau et de l'humidité	23
	• L'action du vent	27
	• Actions des êtres vivants	29
3.2.	<b>• Les points fragiles des constructions en terre</b>	
	• Le bas du mur	33
	• Le haut du mur	45
3.3.	<b>• Protection des points faibles : principes de solutions architecturales</b>	
	• Schéma théorique	61
	• Quelques solutions traditionnelles	63
	• Solutions de protection de surfaces locales : tadellakt et dess	74
<b>CHAPITRE 2.</b>	<b>• FILIERES TERRE</b>	86
1.	<b>• CHOIX DES FILIERES TERRE DÉVELOPPÉES</b>	87
2.	<b>• DÉFINITION DES FILIERES ET DES MODES DE PRODUCTION</b>	88
2.1.	<b>• Le pisé</b>	89
2.2.	<b>• Blocs compressés</b>	113
2.3.	<b>• Adobe</b>	131
2.4.	<b>• Brique cuite + terre</b>	141
<b>CHAPITRE 3.</b>	<b>• ANNEXES</b>	
A.1.	<b>• Marrakech 83, Habitat en terre : programme de l'opération</b>	156
A.2.	<b>• Cahier des charges du programme REXCOOP</b>	164
A.3.	<b>• Quelques études de cas</b>	174
A.4.	<b>• Caractéristiques du matériau</b>	194
A.5.	<b>• Bibliographie</b>	203
A.6.	<b>• Organismes</b>	208
A.7.	<b>• Personnalités</b>	209
A.8.	<b>• Prix matériaux</b>	212

1088



**CRATerre-EAG**

Centre Simone SIGNORET - BP 53  
38090 VILFONTAINE - France