



HAL
open science

Architecture de terre. Production du Pisé

Patrice Doat, Hugo Houben, Hubert Guillaud

► **To cite this version:**

Patrice Doat, Hugo Houben, Hubert Guillaud. Architecture de terre. Production du Pisé. [Research Report] 365bis/86, Ministère de l'urbanisme, du logement et des transports / Bureau de la recherche architecturale (BRA); Ministère de la recherche et de la technologie; Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble / Association grenobloise pour la recherche architecturale (AGRA) / CRATerre Laboratoire architecture de terre. 1986. hal-01898228

HAL Id: hal-01898228

<https://hal.science/hal-01898228>

Submitted on 18 Oct 2018

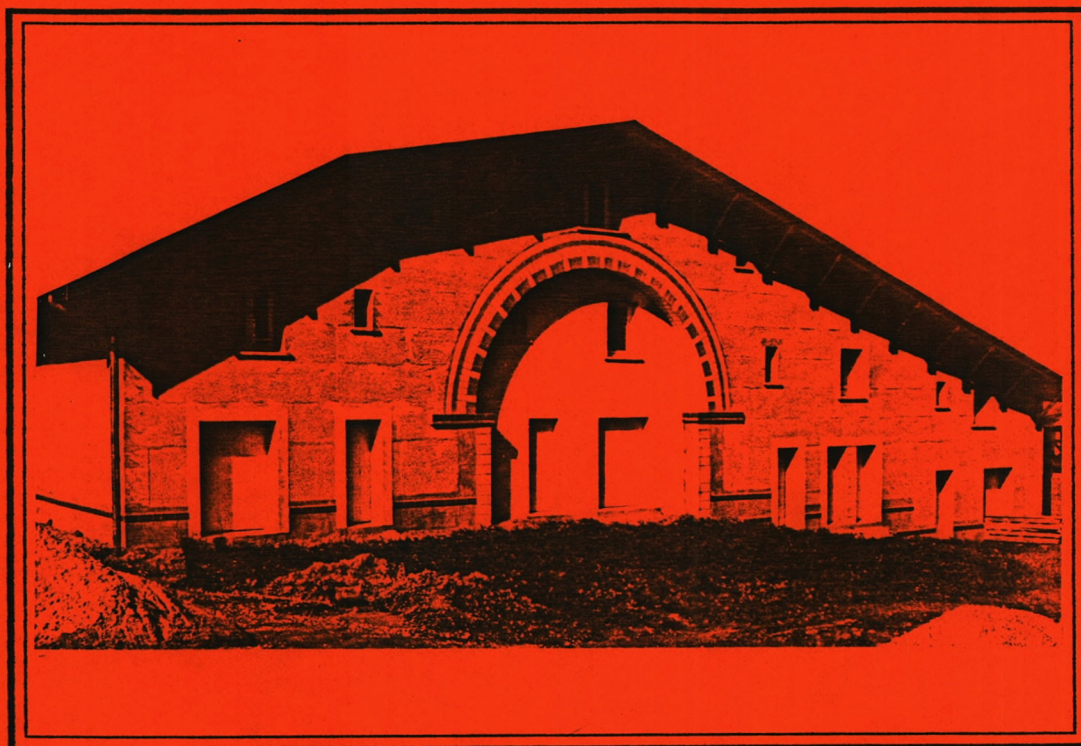
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

365 his

ARCHITECTURE DE TERRE

PRODUCTION DU PISE



CONTRAT N° 85.01.171

MINISTERE DE L'URBANISME, DU LOGEMENT ET DES TRANSPORTS
DIRECTION DE L'ARCHITECTURE ET DE L'URBANISME
BUREAU DE LA RECHERCHE ARCHITECTURALE

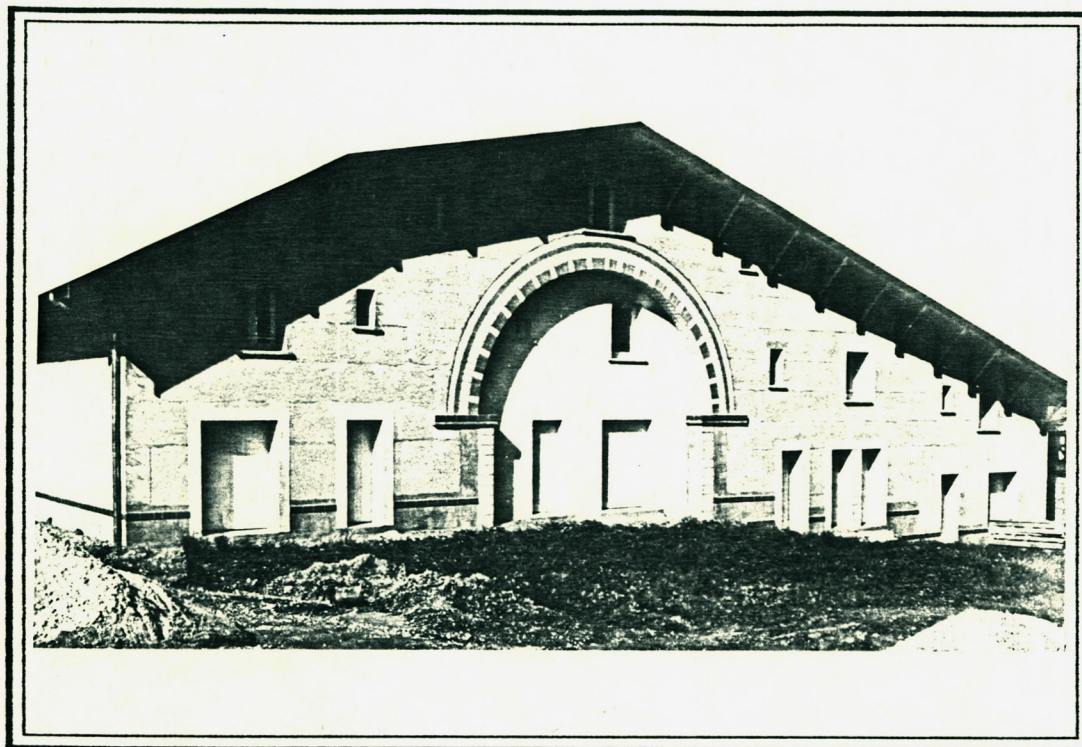
ECOLE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE
10 GALERIE DES BALADINS
38100 GRENOBLE

AGRA - CRATERRE

FEVRIER 1986

ARCHITECTURE DE TERRE

PRODUCTION DU PISE



CONTRAT N° 85.01.171

MINISTERE DE L'URBANISME, DU LOGEMENT ET DES TRANSPORTS
DIRECTION DE L'ARCHITECTURE ET DE L'URBANISME
BUREAU DE LA RECHERCHE ARCHITECTURALE

ECOLE D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE
10 GALERIE DES BALADINS
38100 GRENOBLE

AGRA - CRATERRE

FEVRIER 1986

FICHE TECHNIQUE

Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports
Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme
Bureau de la Recherche architecturale
Contrat N° 335

ARCHITECTURE DE TERRE

PRODUCTION DU PISE

Chargé du Suivi Scientifique pour le B.R.A.
M. Claude Genzling

Chargé du Suivi Administratif pour le B.R.A.
Mme Catherine Pentecôte

Responsable Scientifique pour l'A.G.R.A.
M. Patrice DOAT

Auteurs

M. Hugo Houben
M. Hubert Guillaud

Collaborateurs

Mme Titane Galer
M. Pierre-Eric Verney
Mme Fabienne Dath
M. Marcelo Tramontano

Traitement de texte
Traitement informatique
Dessins
Assemblage

Le présent document constitue le rapport final d'une recherche remise au Bureau de la Recherche Architecturale, en exécution du programme général de recherche mené par le Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports avec le Ministère de la Recherche et de la Technologie. Les jugements et opinions émis par les responsables de la recherche n'engagent que leurs auteurs.

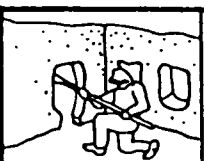



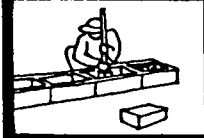
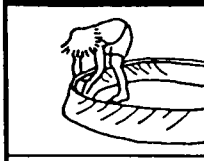
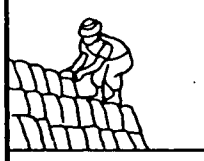


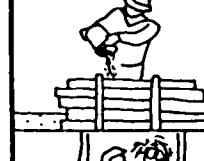


Photo couverture : Ilôt I du Domaine de la terre - Isle d'Abeau -
Architectes : Perreau-Hamburger, O.; Savignat, J.M.; Munteanu, M.
Entreprise : Marchand et Peller.

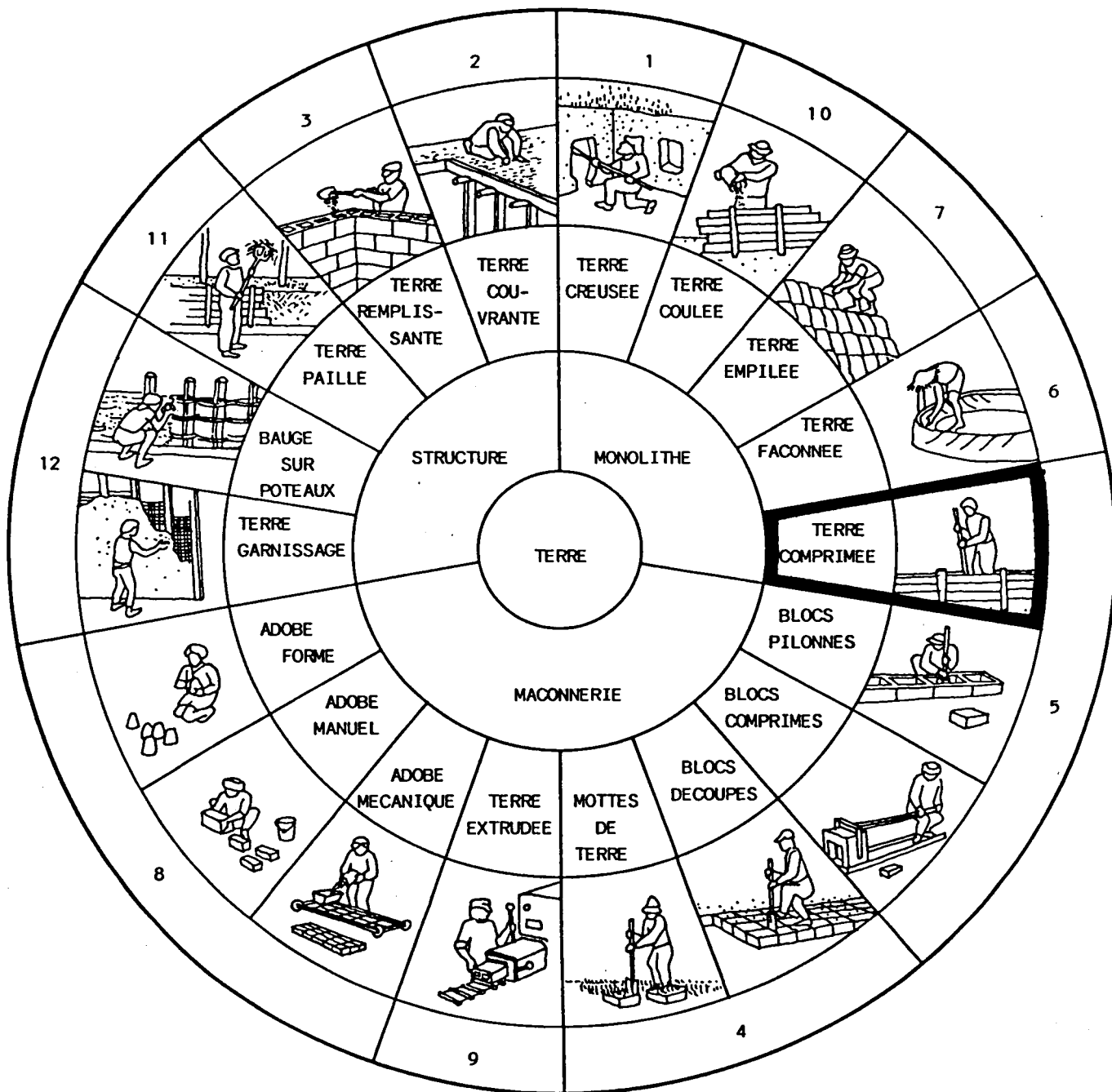
SOMMAIRE

- 1 - MODES D'UTILISATION DE LA TERRE
- 2 - PRINCIPES DE COMPRESSION
- 3 - PROBLEMATIQUE DE PRODUCTION
- 4 - PRODUCTION
- 5 - RENDEMENTS
- 6 - PLANIFICATION
- 7 - CARACTERISTIQUES
- 8 - PATHOLOGIE
- 9 - BIBLIOGRAPHIE

MODES D'UTILISATION DE LA TERRE

FORMES D'UTILISATION DE LA TERRE

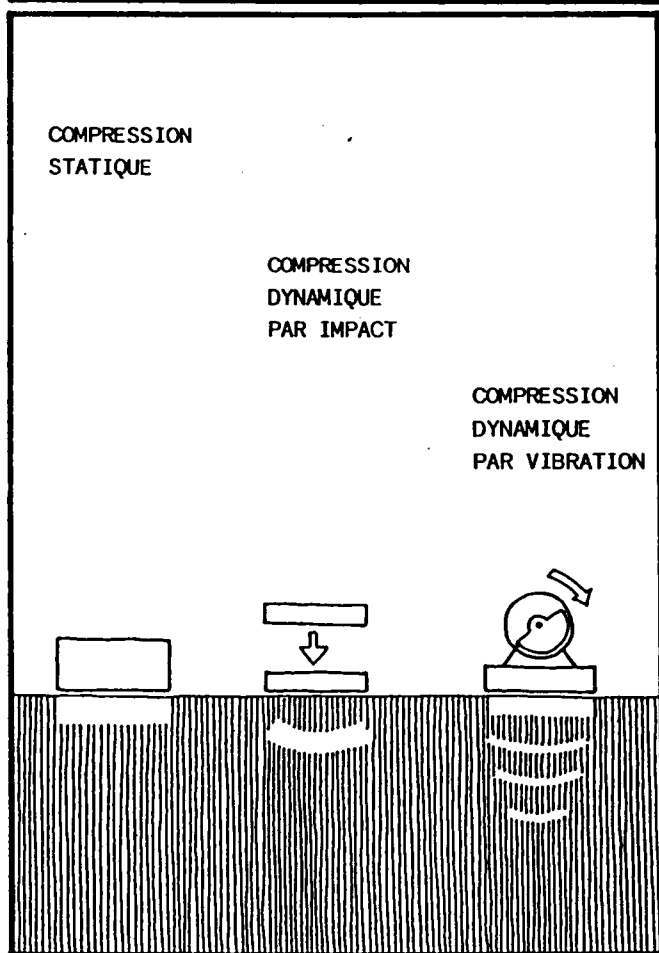
		<p>1 - TERRE CREUSEE L'habitation est creusée dans l'épaisseur de l'écorce terrestre : habitat troglodytique.</p>
		<p>2 - TERRE COVRANTE La terre recouvre une structure construite avec un autre matériau.</p>
		<p>3 - TERRE REMPLISSANTE La terre remplit des matériaux creux employés comme enveloppe.</p>
		<p>4 - TERRE DECOUPEE Des blocs de terre sont directement découpés dans la masse du sol.</p>
		<p>5 - TERRE COMPRIMEE Des éléments sont réalisés avec une terre comprimée dans des moules ou des coffrages.</p>
		<p>6 - TERRE FACONNEE La terre plastique est façonnée à la main pour dresser des murs minces.</p>
		<p>7 - TERRE EMPILEE Des boules de terre sont empilées pour constituer des murs épais.</p>
		<p>8 - TERRE MOULEE La terre est moulée à la main ou à l'aide de moules en formes diverses.</p>
		<p>9 - TERRE EXTRUDEE La terre est extrudée par une puissante machine.</p>
		<p>10 - TERRE COULEE La terre est coulée dans des coffrages ou dans des moules comme un béton.</p>
		<p>11 - TERRE-PAILLE Une barbotine argileuse lie des fibres et constitue un matériau léger.</p>
		<p>12 - TERRE GARNISSAGE La terre mêlée de fibres est appliquée en couche mince pour garnir un support.</p>



PRINCIPES DE COMPRESSION

TERRE COMPRIMEE

Naturellement perméable et poreuse, la terre est très sensible à l'eau. En pénétrant les vides du matériau, l'eau engage des dégradations irréversibles. La réduction du volume des vides du matériau diminue sa sensibilité à l'eau et augmente sa résistance. Cette amélioration s'obtient en comprimant la terre, élevant ainsi sa densité. De nos jours, c'est la technologie de la terre comprimée qui est la mieux connue et maîtrisée pour avoir captivé l'attention des techniciens et des scientifiques. Techniquement évoluée et résolument moderne, la compression est très prisée et semble dotée d'un bel avenir.



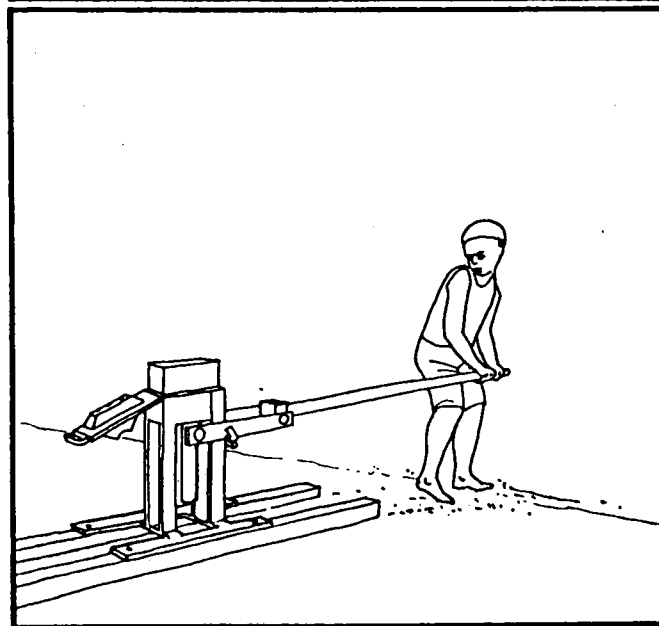
LES MECANISMES DE COMPRESSION

Compression statique : Sur le sol, un poids mort exerce une pression statique; l'action en profondeur est limitée à cause de la friction interne du sol.

Compression dynamique : impact ou vibration.

Un objet tombe sur le sol. L'impact produit une onde de choc et de pression qui met les particules en mouvement. L'action en profondeur est meilleure. La force d'impact d'un poids chutant d'une hauteur de 50 cm est 50 fois supérieure à sa pression statique.

Les engins vibrants exercent une série d'impacts rapides sur le sol à la fréquence de 500 à 5 000 vibrations par minute. Les ondes de pression pénètrent en profondeur. Le mouvement imprimé aux particules élimine temporairement la friction interne et réorganise les grains. On obtient une densité maximale. La compression par vibration est rapide et emploie un matériel moins lourd mais plus sophistiqué que la compression statique.



COMPRESSION STATIQUE

Dans la pratique, la compression statique d'une masse de terre se traduit par l'application d'une force. Celle-ci est exercée au moyen d'une presse mécanique ou hydraulique. Retenue dans un moule, la terre est comprimée entre deux plateaux qui se rapprochent lentement. La compression expulse l'air. Les densités obtenues sont de 1700 à 2300 kg/m³. Les presses statiques ne conviennent que pour la production de petits éléments (briques, hourdis, etc) et ne sont pas adaptées pour la fabrication de murs ou de pavements monolithiques. Selon le type de presse employée, la production est de 300 à 20 000 briques par jour. Le coût de ces unités varie de 200 US\$ à 1 000 000 US\$.

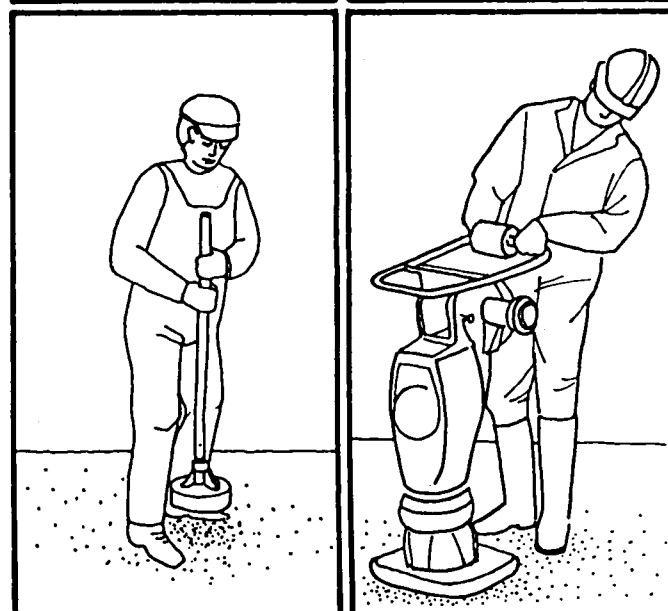
COMPRESSION DYNAMIQUE PAR IMPACT

La fabrication manuelle de briques en comprimant la terre dans des moules en bois ou en acier à l'aide de pilons est une technique ancienne. Le travail est fastidieux et les rendements restent faibles. La régularité d'épaisseur des blocs est difficile à contrôler. Plusieurs tentatives de mécanisation ont été faites avec des presses à couvercle lourd, rabattable, très pénibles à manipuler. Des presses motorisées furent employées. Elles ont aujourd'hui disparu du marché car leur lenteur de fonctionnement et le contrôle de la régularité d'épaisseur et de densité des blocs restaient problématiques. La compression dynamique par impact est par contre tout à fait adaptée à la fabrication de murs en terre comprimée monolithiques. Universellement connu, le PISE consiste en un damage de la terre entre des coffrages. Le matériau obtenu est très solide et durable tel que peut en témoigner un patrimoine architectural mondial aussi riche que varié et d'une qualité souvent étonnante. Une technique similaire fut et demeure employée pour la mise en oeuvre de pavements en terre battue.



COMPRESSION DYNAMIQUE PAR VIBRATION

L'élévation de la densité des sols par vibration est largement employée pour les travaux routiers. Cette technique est également utilisée pour la fabrication de blocs de terre comprimée; dès 1954 p.e., des unités de production sont opérationnelles au Burundi et au Soudan. La compression par vibration permet de fabriquer des blocs de grande dimension (50 cm x 20 cm x 20 cm, p.e.) qui exigent une énergie plus importante en compression statique. On peut aussi fabriquer des blocs alvéolaires. Les unités de production sont jusqu'à présent très lourdes et encombrantes. Le principe a été adapté au pisé par le G.H.K. de Kassel (RFA) un petit vibreur à charge rotative excentrée, alimenté par électricité circule dans le coffrage. Les aller-retour de l'engin sont commandés par interrupteur. Le système réduit considérablement la main d'oeuvre. Ce matériel a été utilisé pour la construction d'une maison au Brésil (1982). La compression par vibration convient particulièrement pour la réalisation de sols; la gamme d'engins du marché est aujourd'hui très large.



PROBLEMATIQUE DE PRODUCTION

PROBLEMATIQUE DE LA PRODUCTION

POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT

La construction en terre développe aujourd'hui des techniques de production dont le registre admet tout autant le procès le plus rudimentaire, manuel, artisanal, et le procès le plus sophistiqué, industriel, mécanisé, voire automatisé. Dans la partie haute de ce registre, le procès de production de la terre n'a rien à envier à celui d'autres matériaux de construction actuels, parmi les plus élaborés. Certaines usines de production de terre stabilisée, livrées "produit en main" approchent une valeur d'investissement de 1000000 US \$. Cette tendance à l'industrialisation s'est affirmée il y a environ 25 ans pour la production des blocs comprimés, p.e. Aujourd'hui, si cette tendance arrive à son épanouissement technique, elle n'est pas forcément nécessaire ni peut être souhaitable, selon le contexte abordé; néanmoins, cette tendance est désormais une réalité sur laquelle il faut compter. La technologie de la terre ne relève donc plus de pratiques strictement artisanales ou de troisième zone qui serait dépourvue de potentialité de développement. L'évolution de l'artisanal à l'industriel est possible mais il est évident que cette tendance doit être justifiée au regard de paramètres de situation particuliers: politique de développement régional, aspects socio-économiques et culturels, dépendance économique et technologique, investissements, procès de travail, etc ...

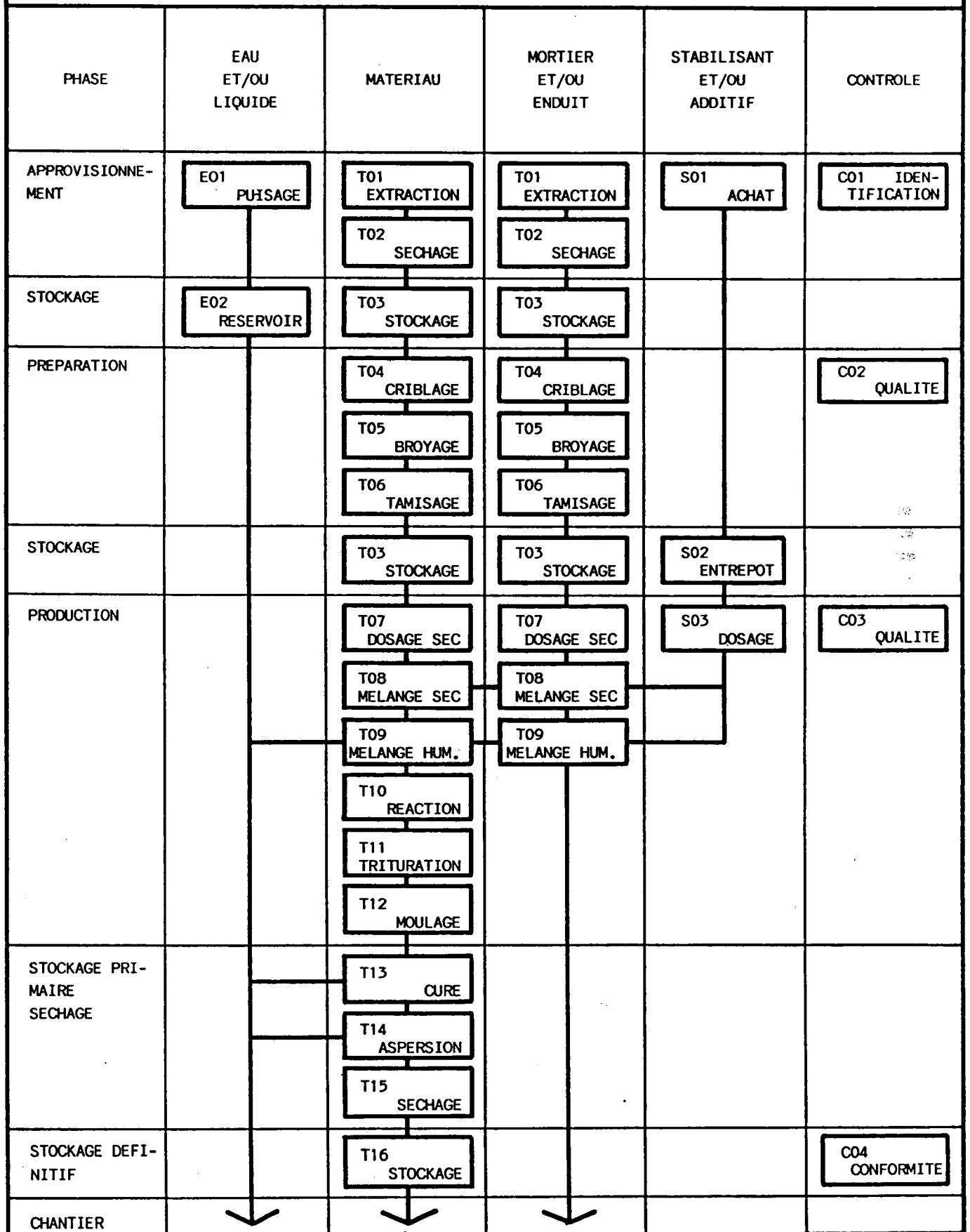
P.e., sur le mode artisanal, 5 personnes produisent de 500 (Afrique de l'Ouest) à 2 500 adobes/jour (Egypte, Iran) pour un investissement nul. Sur le mode industriel, 5 personnes produisent jusqu'à 20 000 adobes/jour (USA) avec un investissement de l'ordre de 300 000 US \$. L'engouement actuel pour la mécanisation ne permet pas souvent d'atteindre les quantités ni les qualités espérées. Notons ici cette assertion de Joe Tibbets dans la revue américaine Adobe Today: "A machine is no better than the soil you put into it." (1) Ce n'est pas la machine qui garantit la qualité de la production mais l'organisation de la production et le savoir-faire des opérateurs. Les rendements réels d'une production mécanisée correspondent souvent au 1/10 des prétentions commerciales et les produits de belle apparence à la démonstration deviennent lamentables après quelques années. Aujourd'hui, l'universalité de la construction en terre exige que l'on procède à une étude approfondie des outils de production à tous les stades du procès de production et jusqu'à la mise en œuvre et l'entretien. Ici on se limitera aux 3 techniques les plus employées sur les douze inventoriées: le bloc comprimé, le pisé, l'adobe.

CYCLE DE PRODUCTION

Quels que soient les modes de production, manuels ou mécanisés, les modes opératoires suivent plus ou moins des stades identiques. C'est notamment vrai pour les phases d'extraction, de transport, de séchage préliminaire, de stockage du matériau brut, pour le broyage et le criblage, le dosage et le malaxage, le séchage et le stockage du produit final. Mais il est évident que chaque technique demande une adaptation particulière du schéma de production général. Certains postes pourront être supprimés, dédoublés ou inversés. La référence à ce schéma permettra au constructeur d'estimer les rendements et les temps d'exécution plus aisément.

- T01 EXTRACTION de la terre d'une carrière.
- T02 SECHAGE par épandage en couches minces, en petits tas aérés ou en cyclone à air chaud.
- T03 STOCKAGE d'une réserve de terre brute ou préparée sur l'aire de production.
- T04 CRIBLAGE si la terre a trop de gros cailloux qui doivent être écartés.
- T05 BROUAGE pour désagréger les concrétions d'argile.
- T06 TAMISAGE pour éliminer les éléments indésirables après la préparation générale.
- T07 DOSAGE SEC de la terre en poids ou en volume en vue de son mélange avec l'eau et/ou le stabilisant.
- T08 MELANGE SEC pour un maximum d'efficacité du stabilisant en poudre.
- T09 MELANGE HUMIDE : ajout de l'eau par aspersion après mélange sec correct ou directement avec un stabilisant liquide.
- T10 REACTION : temps de retenue variable selon la nature du stabilisant; très court au ciment, plus long à la chaux.
- T11 TRITURATION : favorable juste avant de mettre en œuvre la terre.
- T12 MOULAGE : mise en forme finale de la terre par différents procédés.
- T13 CURE : conditions qui conviennent au mieux aux premiers temps de séchage.
- T14 ASPERSION : si nécessaire pour permettre une bonne hydratation du stabilisant.
- T15 SECHAGE : pendant une période suffisante pour garantir une qualité acceptable du produit.
- T16 STOCKAGE FINAL: produits en attente et prêts à l'emploi.

SCHEMA GENERAL DE PRODUCTION



EXTRACTION ET TRANSPORT

EXTRACTION

Les problèmes inhérents à l'extraction de la terre pour construire sont plus ou moins similaires pour l'ensemble des techniques, à l'exception de l'habitat creusé. Ces problèmes sont également similaires à ceux que pose l'extraction d'autres matériaux pour l'industrie céramique, l'industrie du ciment et d'autres liants, l'industrie de la pierre ou même ceux que posent l'agriculture ou les travaux routiers; ils sont abondamment décrits dans la littérature spécialisée. Les moyens d'extraction de la terre varient suivant plusieurs facteurs dont principalement ceux d'ordre géologique et technique, et ceux d'ordre économique. Diverses questions doivent être abordées très tôt et anticiper sur l'opération d'extraction elle-même afin d'optimiser le travail et de parfaire son organisation. D'un point de vue géologique et technique : Quel type de terre utile et à quelle profondeur ? Quels périmètre et surface d'exploitation, quel pendage du front de carrière ? Quels travaux préparatoires : débroussaillage, décapage végétal, épierrement, emploi d'explosifs ? Doit-on prévoir de stocker la terre végétale pour la réutiliser en agriculture ou en jardinage ? L'horizon de terre utile est-il uniforme ou mélangé, stratifié ? Le terrain est-il bien drainé ou doit-on envisager une infrastructure de drainage de la carrière ? Le terrain est-il stable pour assurer la sécurité du personnel d'extraction ou l'emploi d'engins

lourds ? De quel matériel d'extraction dispose-t-on : outillage manuel, artisanal, agricole ou outillage mécanisé, motorisé, engins légers ou lourds, statiques ou mobiles ? L'extraction manuelle est-elle plus désignée, techniquement et économiquement que l'extraction mécanisée ou inversément ? Le mode d'extraction préférentiel sera-t-il horizontal, manuel ou mécanisé, si le sol n'est pas stratifié ? ou bien sera-t-il vertical, permettant un mélange de plusieurs horizons et nécessitant le creusage de puits, l'emploi d'explosifs ? Quelle solution d'acheminement du matériau brut extrait ? Quelle solution économique globale sera-t-elle la plus faisable et doit-on envisager en fonction du contexte local de l'opération ? Comment peut-on, à tous points de vue assurer la meilleure gestion de l'exploitation du gisement et optimiser l'opération ? Quelle réglementation juridique en vigueur ? Comment assurera-t-on le nettoyage du site ? Autant de questions à poser avant de prendre la pelle ou avant de s'installer sur un scraper.

En Haute-Volta, pour un chantier de 4 000 m², la préférence a été donnée à une extraction manuelle et transport par charrettes à âne, procurant du travail à 10 personnes pendant deux ans, plutôt que de faire intervenir un bulldozer puissant qui aurait fait le même travail pour la même somme d'argent en 4 jours.

SYSTEME D'EXTRACTION		ETAT HYDRIQUE DE LA TERRE					
		LIQUIDE	PLASTIQUE MOU	HUMIDE	CONCRETION SEC	CONCRETION	
NON MOTORISE	1 PELLE ET PIOCHE		o	o	o	o	o
	2 COUTEAU A DOUBLE MANCHE				o	o	o
	3 PIEU				o	o	o
	4 EXPLOSIFS				o	o	o
	etc						
MOTORISE	5 MARTEAU PIQUEUR				o	o	o
	6 BROUETTE TRACTEE		o		o	o	o
	7 TRACTO-PELLE	o	o	o	o	o	o
	8 SCRAPEUR			o	o	o	o
	9 BULL-DOZER			o	o	o	o
	10 NIVELEUSE			o	o	o	o
	11 EXCAVATRICE			o	o	o	o
	12 CHARRUE			o	o	o	o
	13 MOTOCULTEUR				o	o	o
	14 CHAINE A GODETS	o	o	o	o	o	o
etc							

TRANSPORT

Les facteurs techniques du choix des modes de transport de la terre sont dépendant de la nature de la terre, de son état hydrique, des conditions d'exploitation de la carrière. Techniquement, les problèmes du transport doivent être envisagés à tous les stades de la chaîne de production globale du matériau mais ils ne sont pas réellement spécifiques à la technologie de la terre crue. L'exploitation d'autres matériaux en carrière et dans les phases ultérieures de production en composants de construction y est aussi confrontée. Ainsi, le transport sera envisagé autant au stade de l'extraction en carrière qu'aux stades successifs d'approvisionnement de l'aire de production, de la briqueterie et d'acheminement vers les chantiers, directement (pisé p.e.) ou après réalisation des produits (briques p.e.). Le transport est lié à l'appréciation des distances, à la reconnaissance des niveaux du terrain qui favorisent la réalisation de chemins et d'accès, à la possibilité ou l'impossibilité d'user d'un réseau de voirie existant. Ce sont aussi des problèmes de périmètre d'exploitation et d'aménagement des abords pour favoriser une bonne manœuvre des outils du transport, des problèmes de stabilité du terrain dans le cas d'une circulation d'engins lourds. Ce sont des problèmes de sécurité du personnel d'extraction, des transporteurs eux-mêmes, du personnel de production au voisinage des briqueteries, des ouvriers sur les chantiers à proxi-

mité des aires de stockage. Ce sont enfin des choix techniques sur les moyens et les modes de transport qui sont appréciés à la fois au regard des contraintes géologiques et techniques d'exploitation des carrières, des contraintes techniques et sous-économiques des aires de production et des chantiers et en fonction de l'économie globale de la gestion optimale de la production. Viennent alors les choix sur les outils nécessaires, contrebalancés par leur disponibilité ou leur indisponibilité, par l'économie de leur emploi. Selon le contexte, les modes de transport les plus favorables seront manuels, à traction animale ou motorisée et l'on appréciera alors le coût de l'énergie du transport. Dans le cas de grosses exploitations voisines de projets d'envergure, ce sera peut être la possibilité de développer une infrastructure employant des systèmes de chariots sur câbles ou de télébennes, de bandes transporteuses, de wagonnets sur rails, etc... La solution du transport demeure dans bien des cas fondamentale pour assurer l'économie réelle d'une opération et il importe souvent d'alléger au maximum ce poste très lourd de la chaîne de production.

SYSTEME DE TRANSPORT		ETAT HYDRIQUE DE LA TERRE					
		LIQUIDE	MOU	PLASTIQUE	HUMIDE	CONCRETION SEC	
MOBILE	1 SAC, PANIER, SEAU ...	o	o	o	o	o	o
	2 BROUETTE, BERLINE ...	o	o	o	o	o	o
	3 BROUETTE TRACTEE		o	o	o	o	o
	4 DUMPER, CHARIOT, BASCULEUR ...		o	o	o	o	o
	5 CHARETTE		o	o	o	o	o
	6 CAMION, CAMIONNETTE, PICK-UP ...		o	o	o	o	o
	7 BULL-DOZEUR, CHARGEUR ... etc		o	o	o	o	o
STATIONNAIRE	8 POMPE A ENDUIT	o					
	9 POMPE A BETON	o	o				
	10 TUYAU A AIR COMPRIME PULSE					o	o
	11 BANDE TRANSPORTEUSE					o	o
	12 TELEPHERIQUE	o	o	o	o	o	o
	13 GRUE	o	o	o	o	o	o
14 WAGONNET SUR RAILS etc	o	o	o	o	o	o	

PULVERISATION ET MALAXAGE

GRADATION

Pour chaque technique de construction en terre, il existe une gradation du matériau préférentiel. Ces gradations doivent être respectées ou approchées le plus possible afin de garantir la qualité du produit transformé ou mis en oeuvre. A son état brut d'extraction, la terre peut présenter deux défauts majeurs.

- 1 - **DEFAUT DE TEXTURE** : la terre est caractérisée soit par une fraction granulaire en excès, soit en manque : trop d'argile, pas assez de sables, p.e. La terre est trop chargée en gros cailloux ou en matières végétales : racines p.e. Pour ôter des éléments grossiers - cailloux, racines - l'opération est assez aisée : épierrement manuel, nettoyage, criblage manuel ou mécanisé. Pour ôter une fraction plus fine en excès, l'opération est plus délicate : cribler à la maille correcte, ou en plusieurs fractions puis recomposer la terre; lessiver à l'eau pour les argiles : opération problématique qui grève la production et qui peut être anti-économique. Encore faut-il que la fraction granulaire indésirable soit correctement dissociée; car si elle est emprisonnée dans une gangue d'autre matériau, l'opération est difficile et rejoint un problème de structure par la voie de la décomposition de la terre en fractions granulaires indépendantes. Par contre, pour ajouter une fraction granulaire en défaut, l'opération est aisée et relève de l'amendement des terres :

elle s'effectue par malaxage.

- 2 - **DEFAUT DE STRUCTURE** : quand on est en présence d'une terre fragmentaire ou continue, il peut être souhaitable de la désolidariser ou de la broyer, de la pulvériser. La pulvérisation est souvent indispensable pour les blocs comprimés stabilisés au ciment ou à la chaux et garantit en grande partie la qualité du produit. Avec une terre bien composée en fractions nécessaires distinctes et tamisée, les grains, l'eau et le stabilisant en poudre seront harmonieusement distribués et le produit sera d'excellente qualité.

Il est donc souvent nécessaire d'opérer un travail préparatoire sur la texture et la structure. Opération qui peut être manuelle ou outillée. Un matériel spécifique de criblage, de broyage et de pulvérisation a été élaboré par les concepteurs de machines. Mais, selon les conditions du lieu, on pourra faire appel à la main d'oeuvre ou à des outils hérités d'une autre activité : agriculture, travaux publics.

SYSTEME DE GRADATION		ETAT HYDRIQUE DE LA TERRE				
		LIQUIDE	MOU	PLASTIQUE	HUMIDE	CONCRETION SEC
TEXTURE	NON MOTORISE	1 SELECTION MANUELLE 2 TAMISAGE A LA PELLE 3 TAMIS ROTATIF OU VIBRANT etc				o o o o o o
	MOTORISE	4 LAVAGE 5 CRIBLE OU TAMIS VIBRANT etc	o	o		o o
STRUCTURE	NON MOTORISE	6 BRISEMENT METEOROLOGIQUE 7 BRISEMENT PAR EAU 8 PILON 9 ROULEAU 10 PULVERISATEUR OU BROYEUR etc		o		o o o o o o o o
	MOTORISE	11 ROULEAU 12 PULVERISATEUR OU BROYEUR 13 MALAXEUR A FRAISES 14 EMIETTEUR AGRICOLE 15 PASSAGE AVEC ENGIN etc				o o o o o o o o o o o o

MALAXAGE

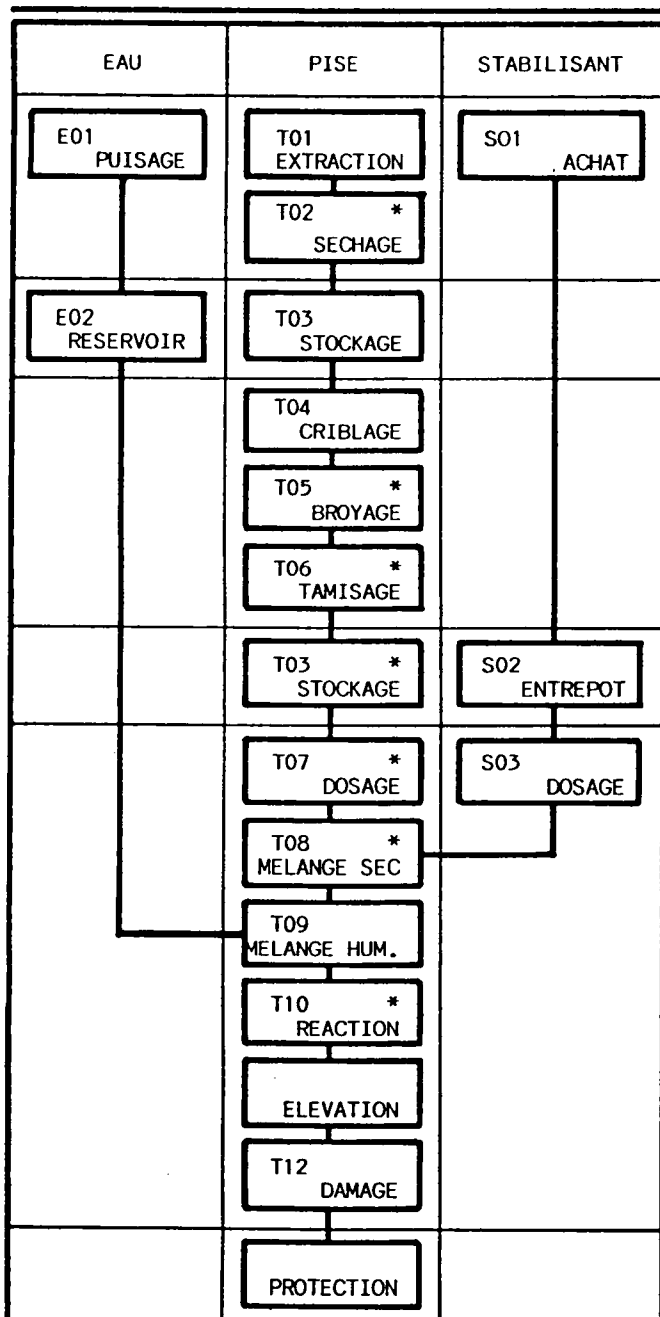
Peu de terres peuvent être employées telles quelles, aussitôt extraites; elles exigent souvent d'être préparées, broyées, tamisées, pulvérisées avant d'être mélangées, phase qui précède la mise en oeuvre. L'importance du malaxage ne doit pas être sous-estimée car, à l'égal de l'opération amont de pulvérisation, elle garantit la qualité ultérieure du produit et de la construction. Elle en garantit aussi l'économie dans la mesure où elle optimise les quantités de matériaux et d'adjuvants mélangés dans le cas d'une stabilisation. Le malaxage peut s'opérer soit entre les ingrédients d'une même terre dissociée en fractions granulaires distinctes, soit entre différentes terres - amendement p.e.- soit entre une terre caractérisée et d'autres terres auxquelles sont ajoutés différents adjuvants : eau, stabilisant,.. D'autre part, le malaxage ne s'opère bien qu'entre matériaux secs, ou secs et liquides et liquides. Le mélange sec/humide pose quelques difficultés notamment dans le cas d'une stabilisation aux liants hydrauliques en poudre, ciment ou chaux. Dans ce cas, un mélange préalable à sec est indispensable. L'eau n'est ajoutée que par la suite et progressivement, par aspersion. La réflexion qui précède l'opération de malaxage d'une terre est très différente de celle qui préside au béton; car si le béton n'est pas cohésif, la terre l'est, risquant de provoquer la formation de mottes ou

de grumeaux, de concrétions qui réduiront la résistance du matériau. Ainsi, les bétonnières classiques ne sont pas un matériel adéquat. Le temps de malaxage est plus long et le matériel doit être plus robuste avec un moteur très puissant. Le nettoyage du matériel est plus pénible. Le malaxage peut être réalisé manuellement : à la pelle ou par foulage aux pieds, ou mécaniquement à l'aide d'engins spéciaux ou d'engins hérités d'autres activités : agriculture, travaux routiers, industrie céramique. Le mode de malaxage dépend de la qualité de la terre, de la technique employée - blocs ou pisé ou autre - de la qualité visée du produit et de la construction, des conditions de production du contexte d'opération, du degré de savoir-faire, des contraintes économiques, énergétiques, sociales (organisation du travail), etc... qu'il s'agit d'optimiser.

SYSTEME DE MALAXAGE		ETAT HYDRIQUE DE LA TERRE					
		LIQUIDE	PLASTIQUE MOU	HUMIDE	CONCRETION SEC		
NON MOTORISE	HOMMES	1 PELLE, HOUE ... 2 PIETINAGE 3 BATTAGE 4 ROTATIF etc	o o	o o	o o	o o	o
	ANIMAUX	5 PIETINAGE etc	o	o	o		
MOTORISE	ARBRE VERTICAL	6 MALAXEUR PLANETAIRE 7 MALAXEUR VERTICAL 8 MALAXEUR A MEULES 9 MALAXEUR A HELICE 10 TURBOMALAXEUR etc	o o o	o o	o o	o o	
	ARBRE HORIZONTAL	11 MALAXEUR A PALETTES 12 MALAXEUR LINEAIRE 13 MALAXEUR A FRAISES etc	o	o o	o	o o o	o o o

PRODUCTION

PISE : PRODUCTION ET PRODUITS



1 - PRODUCTION

Dans son principe, le pisé est assez simple; de la terre versée dans un coffrage est damée. Les conditions idéales d'une bonne terre à la bonne humidité ne sont pas toujours réunies. De même, une technologie trop sophistiquée peut infirmer cette simplicité originelle du pisé. Les variantes technologiques sont très nombreuses selon les régions du monde où l'on pratique le pisé.

2 - PRODUIT

L'aspect du pisé est très variable. En simplifiant, on distingue des pisés d'aspect graveleux - damage de la fraction caillouteuse de la terre à l'extérieur du mur - et des pisés très fins - les graviers sont damés à l'intérieur du mur. La texture fine extérieure d'un pisé est dénommée "fleur de pisé". Les graviers apparents accrochent l'enduit. La variété d'aspect provient aussi de la finition, avec ou sans rejointoiement au mortier, p.e.

3 - PERIODES DE PRODUCTION

En zone tempérée, on ne construit pas en pisé 3 mois avant et lors des mois de gel. Sous climat humide, on évite la saison des pluies et sous climat chaud et sec, les mois les plus chauds. L'économie locale, agricole p.e., peut aussi dicter des priorités de travail.

4 - EQUIPES ET RENDEMENTS

La taille des équipes varie selon le type de chantier et les multiples paramètres locaux. Pour des petits chantiers, on pourra constituer des équipes de 5 à 6 ouvriers. Le rendement dépendra énormément des conditions de travail et de la conception du bâtiment.

NOTES

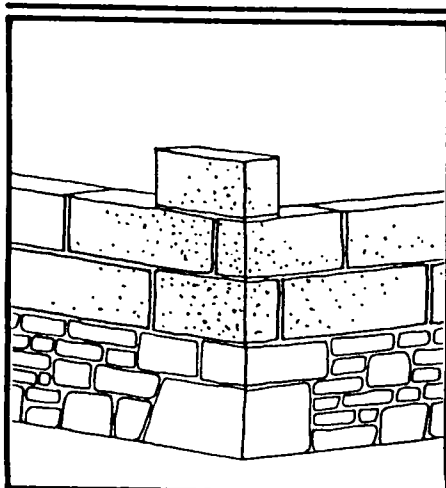
- Il convient de rappeler que l'équipe qui produit le matériau de construction construit en même temps la maison.

- Le schéma de production du pisé stabilisé, présenté ci-dessus, fait clairement apparaître la complication qu'introduit la stabilisation.

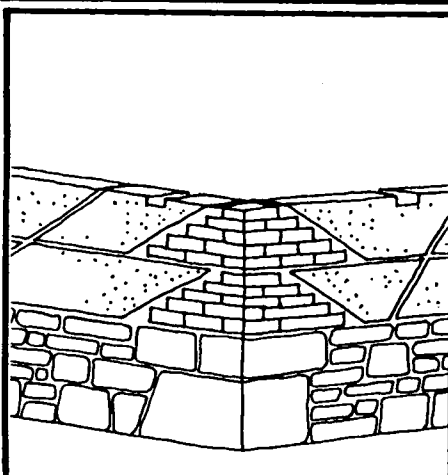
- La stabilisation requiert une organisation adéquate de la production sous peine de ralentir le procès de production du matériau et de la construction.

* Certaines opérations sont rendues nécessaires par la stabilisation.

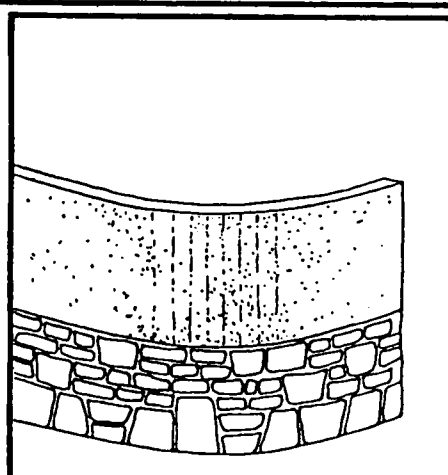
	MANUEL OU MECANISE	TRES MECANISE
INVESTISSEMENT (US \$)	200 à 6 000	20 000
EQUIPE (OUVRIERS)	6	5
- Préparation	2	1
- Transport	2	1
- Construction	2	3
RENDEMENT (h/m ³)		
- Très bonnes conditions	8-10	5
- Bonnes conditions	15-20	9-10
- Mauvaises conditions	25	15
- Très mauv. conditions	35	30



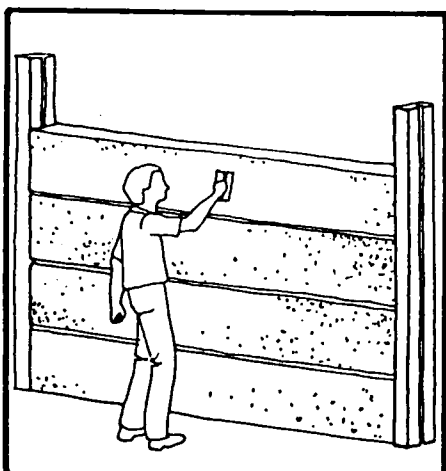
PISE A JOINTS DROITS : Exécuté avec un fond de banche.



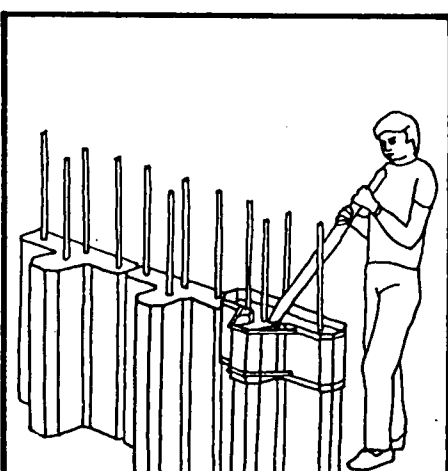
PISE A JOINTS OBLIQUES : Exécuté sans fond de banche.



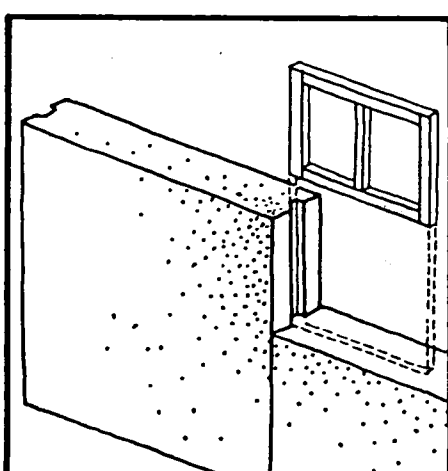
PISE MONOLITHIQUE : Exécuté en coffrage continu.



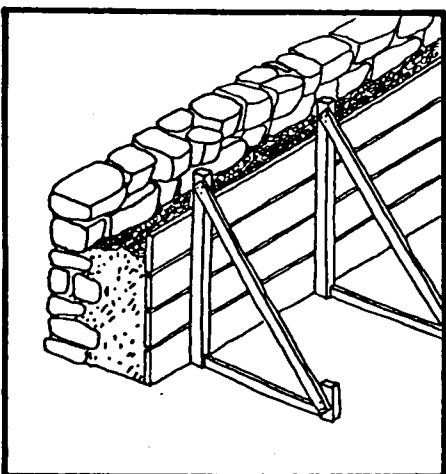
PISE ENTRE POTEAUX : Sur lesquels les banches prennent appui.



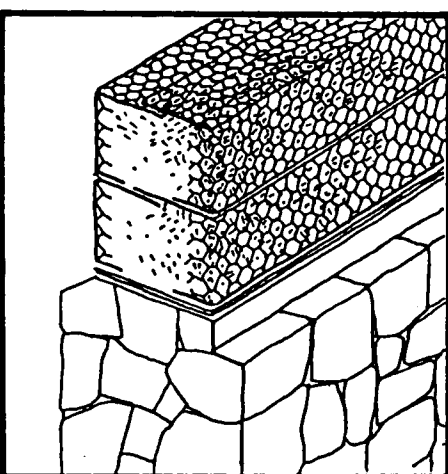
PISE EN PETITS TRUMEAUX : Solidarisés par chaînages.



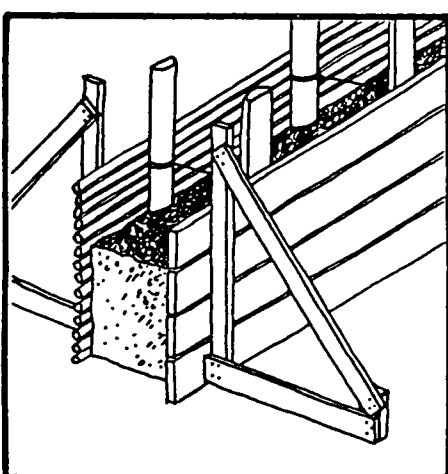
PISE EN GRANDS TRUMEAUX : Solidarisés par chaînages.



PISE A COFFRAGE PERDU : Parement extérieur en pierres de gros appareil.



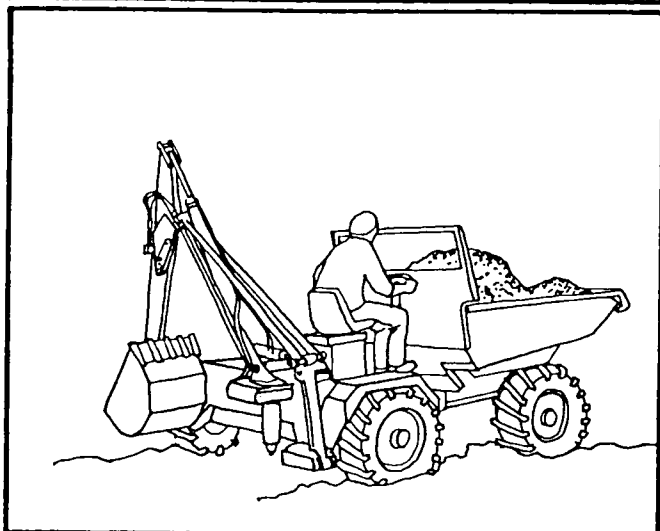
PISE A GABION METALLIQUE : Pour terres expansives.



PISE A COFFRAGE PERDU : Parement extérieur en bambou.

PISE : PREPARATION DE LA TERRE

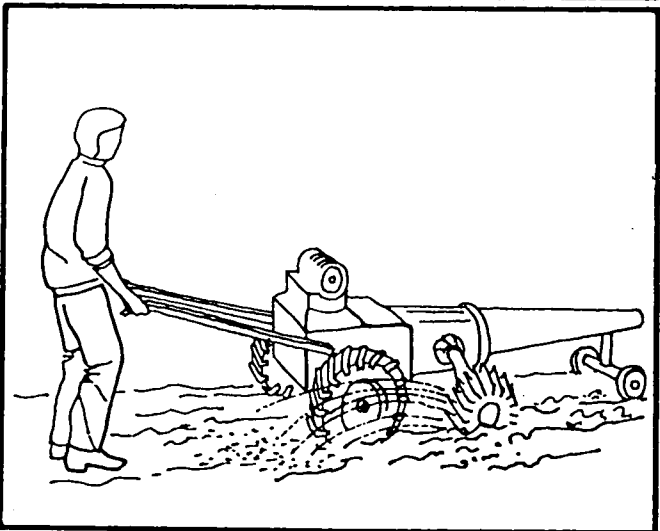
La terre à pisé, dans son état naturel est d'une cohésion variable. Selon le degré de cohésion du matériau, la production peut être facilitée ou rendue plus complexe. Par ailleurs, si la technologie de l'adobe ou du bloc comprimé supporte quelques variations dans la qualité de la terre, compensées par l'adoption de mesures appropriées lors de la production qui assureront la qualité de l'ouvrage, la technologie du pisé est plus rigoureuse. La qualité d'une maison en pisé dépend pour beaucoup d'une qualité uniforme de la terre. L'exploitation du matériau brut, à la carrière, devra assurer cette meilleure uniformité de la qualité de la terre. Quand on construit en pisé non stabilisé, il convient de



1 - EXTRACTION DE LA TERRE

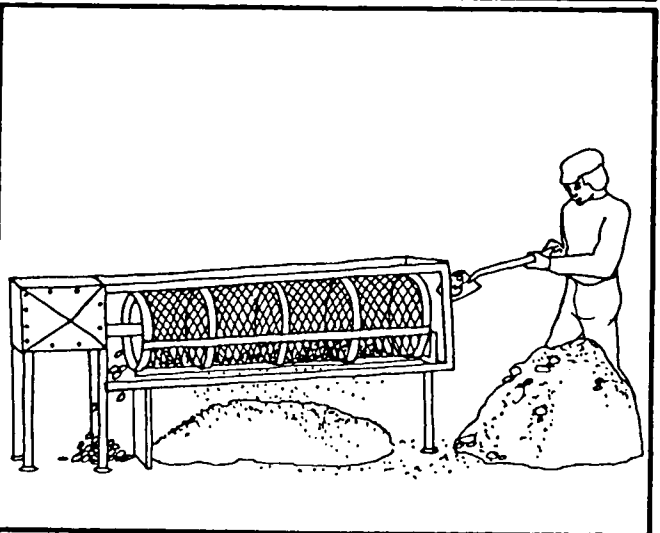
- MANUELLE : l'opération fait appel à l'emploi d'un outillage manuel simple, le plus souvent hérité des travaux agricoles ou des travaux manuels routiers ou miniers : pics, pioches, bêches, pelles, barres à mine, rateaux, etc ... L'extraction manuelle de la terre exige beaucoup de main-d'œuvre.

- MECANIQUE : divers engins mécaniques peuvent être employés. La pelle mécanique qui peut être différemment équipée suivant le travail : en butte, en rétrocaveuse, en grapin ou en benne preneuse. L'excavateur à godets qui convient pour un travail en talus régulier, peu pentu. Le bulldozer à lame, l'angledozer ou le scraper pour une extraction horizontale de grand cubage. Mais aussi le motoculteur à fraises qui offre l'avantage de combiner l'extraction et l'aération de la terre, lui conférant aussi une bonne homogénéité. Les engins à double vocation : excavation et élévation rentabilisant particulièrement la production pouvant réduire l'emploi d'échaffaudages.



2 - CRIBLAGE

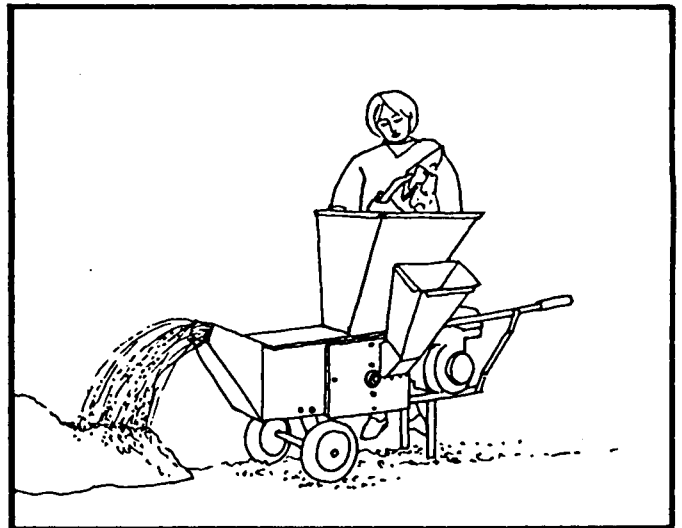
Il est assez fréquent de devoir cribler la terre à pisé. Ce peut être un épierrement manuel des plus gros cailloux de diamètre supérieur à 50 mm (cf. fuseau limite du pisé). On peut également employer des tamis statiques, maintenus en position horizontale ou oblique, dont la maille correspond à l'écrêtement souhaité de la terre. La terre à pisé étant un matériau de nature pulvérulente, les tamis vibrants conviennent particulièrement bien.



s'assurer que la terre employée réponde aux critères de choix, notamment pour sa composition granulaire et son humidité. Il est dans ce cas préférable de travailler avec une bonne terre à son humidité naturelle appropriée : l'ensemble du procès de production est simplifié; ce qui n'est pas le cas lorsque d'autres étapes de criblage, de pulvérisation, de mélange à sec et humide sont nécessaires, pour une stabilisation au ciment ou à la chaux, p.e. On s'efforcera donc de travailler avec une terre la plus idéale possible. De trop grandes variations par rapport au fuseau granulométrique pisé, p.e., sont très préjudiciables à l'économie, au rendement et à la qualité du pisé.

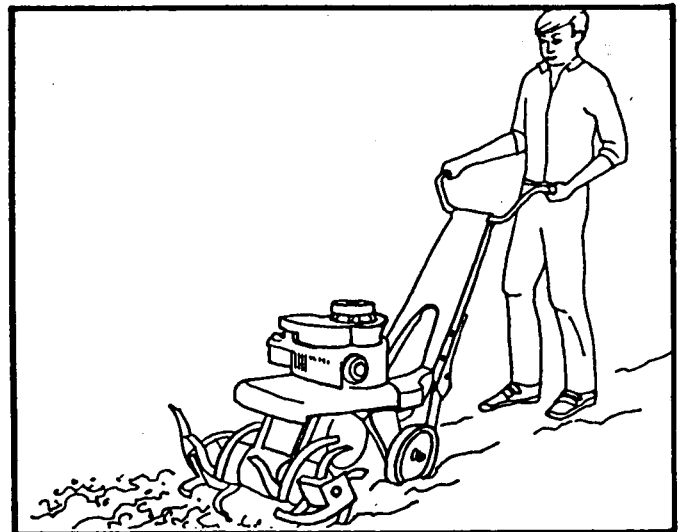
3 - PULVERISATION

Dans le cas d'un pisé stabilisé, la terre doit être pulvérisée. C'est aussi le cas pour une terre trop argileuse agglomérée en mottes dures qui doit être ajoutée d'une fraction sableuse. Il est préférable de grouper les opérations de pulvérisation, de froissage et de mélange. Pour un amendement en sable d'une terre argileuse, un passage alternatif de la fraction argileuse et de l'élément sableux dans le pulvérisateur permettra d'obtenir un assez bon prémélange. Les manipulations suivantes, transport, élévation, épandage dans la banche parviennent au mélange. Le pulvérisateur doit être un engin robuste, car il traite une terre caillouteuse et sableuse, et il doit pouvoir projeter la terre à distance pour permettre une aération et un bon prémélange du matériau.



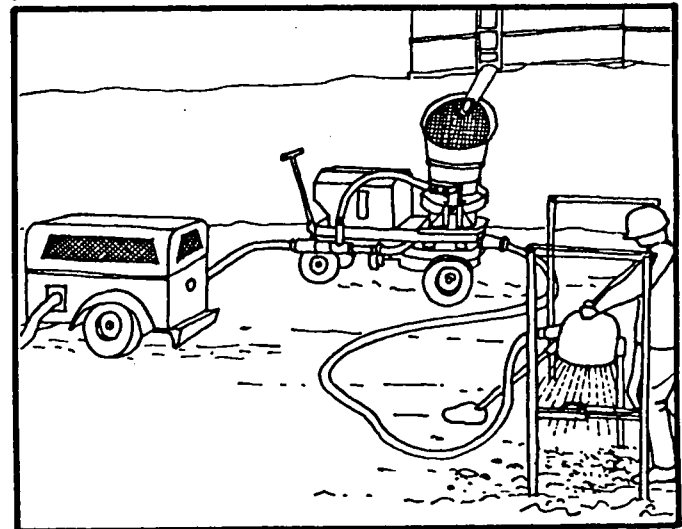
4 - MALAXAGE

Lorsqu'une homogénéisation de la terre est nécessaire ou quand l'on veut ajouter un stabilisant, il convient d'opérer un bon malaxage. L'engin le plus adéquat est le malaxeur à béton, mais le motoculteur donne également un bon résultat dans la plupart des cas.



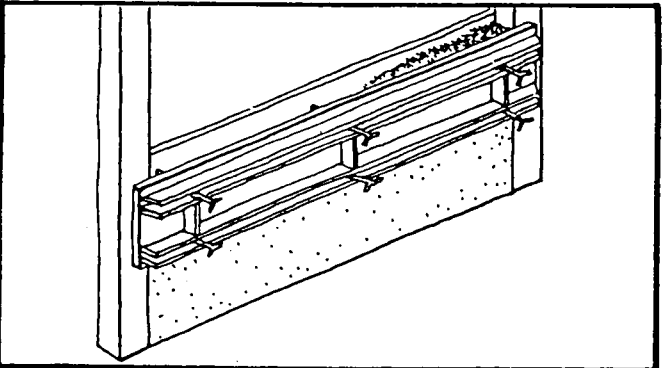
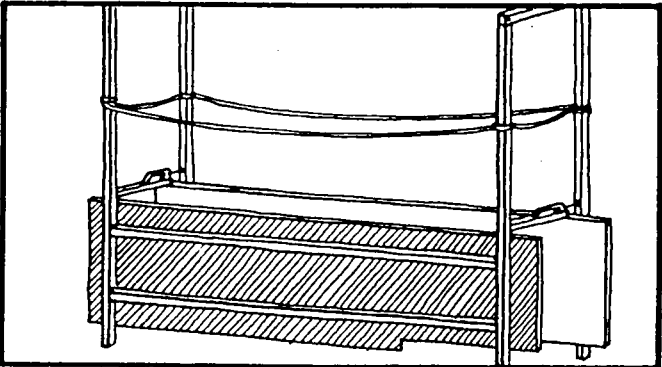
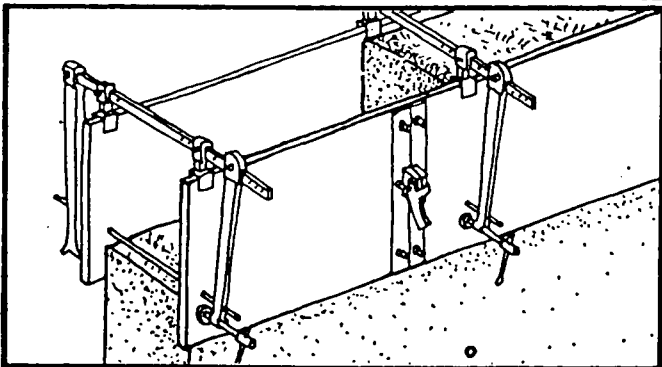
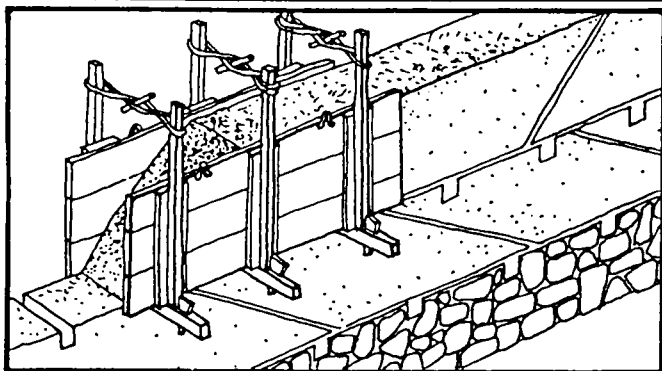
5 - TRANSPORT DE LA TERRE

C'est l'un des problèmes majeurs de la technologie du pisé. Ce sont en effet des quantités énormes de terre qui sont mises en oeuvre. Le matériau doit être transporté horizontalement, de la carrière au chantier et verticalement, au fur et à mesure de l'élévation de la construction. Traditionnellement, les piseurs sont aidés de manoeuvres qui portent la terre à l'aide de paniers ou de couffins, ou autres récipients, et l'élèvent en grimant à l'échelle ou sur des échafaudages. Ce travail peut également se faire à l'aide d'engins élévateurs qui sont très efficaces. De même, on a pu adapter des projeteurs d'enduits à air pulsé. Cette adaptation est délicate car le matériau n'est pas liquide. Par un poste central, on peut ainsi distribuer la terre dans un diamètre de 40 à 50 m jusqu'à 10 m de hauteur.



PISE : PRINCIPES DE COFFRAGE

Le pisé exige l'emploi de coffrages adaptés qui ne sont plus ou pas disponibles à ce jour sur le marché. L'expérience établit que la petite taille et la simplicité de conception garantissent l'efficacité. Quels sont les paramètres d'un bon choix ? Solidité et stabilité pour résister aux pressions et aux vibrations du damage (minimum 300 daN/ m²). Maniabilité, c'est à dire légèreté et facilité de montage et de démontage - aplomb, calage et serrage. Efficacité et sécurité du travail avec possibilité d'adapter des échafaudages. Enfin et surtout: parfaite modulation de la dimension des murs en hauteur, longueur et épaisseur; le calepinage garantit pour beaucoup la rentabilité du pisé. Tout matériau peut être employé : bois (Maroc), rondins (Chine), aluminium (France), acier (Algérie), fibre de verre.



MAINTIEN DES COFFRAGES

Une fois dressés et mis en place, les coffrages doivent être maintenus solidement et être stable. Divers systèmes ont été élaborés par les constructeurs.

1 - CLEFS MASSIVES ET GROS TROUS

Ce sont de solides traverses, de section minimale égale à celle d'un chevron de charpente, sur lesquelles reposent les panneaux du coffrage. Le système est traditionnellement employé en de nombreux pays: Pérou, Maroc... L'emploi de ce type de clefs laisse apparaître de gros trous dans le pisé lors du déplacement des banches. Les clefs doivent de préférence être de forme légèrement conique pour pouvoir être facilement extraites sans détériorer le pisé. Elles peuvent être débordantes pour permettre la pose de planches servant d'échafaudage. Ce matériel est assez lourd et périssable : coups de masse sur les clefs pour les extraire.

2 - PETITES CLEFS ET PETITS TROUS

Ce système est hérité de la technologie du coffrage béton. Les clefs de banche sont des tiges d'acier filetées, des fers à béton ou des fers plats. Ce principe ne laisse apparaître que des petits trous au décoffrage et permet un rebouchage et un ragréage facile du pisé. Les fers doivent être de section suffisante pour porter les banches et ne pas cisailer le pisé. Un gainage dans des sections de tube plastique résoud ce problème.

3 - SANS CLEFS ET SANS TROUS

C'est le principe de maintien des coffrages dont rêvent tous les constructeurs. Deux solutions ont été retenues par les concepteurs.

- 1 - COFFRAGE INDEPENDANT PINCE : les panneaux sont maintenus par des systèmes de tendeurs ou de pinces à vis ou encore de verrins hydrauliques de serrage.

- 2 - COFFRAGE PINCE SUR POTEAUX : les poteaux ne doivent pas être trop distants pour éviter le risque de ventre du mur. Ce système est abondamment utilisé par le Ceped du Brésil.

ORGANISATION DES COFFRAGES

L'organisation du chantier, matériel et main-d'oeuvre disponibles, les délais d'exécution et les rendements souhaités, les plans d'architecte, le type de finition recherché, peuvent fortement influencer le choix d'un principe de coffrage et la conception du matériel.

1 - COFFRAGES EN PETITS ELEMENTS

- 1 - PROGRESSION HORIZONTALE : Ce principe est classiquement employé dans la tradition du pisé. Les systèmes de banches inventés par les artisans sont très divers et adoptent les principes de maintien précédemment évoqués. La légèreté et la maniabilité de matériel, la modulation très flexible en sont un atout majeur.

- 2 - PROGRESSION VERTICALE : Ce principe est surtout adapté à la construction de murs en pisé en trumeaux. L'exécution du bâtiment en est facilitée et assez rapide mais les coffrages doivent être bien conçus. Les éléments verticaux de maintien des banches peuvent être des fonds de banches, des poteaux de structure ou des portiques extérieurs.

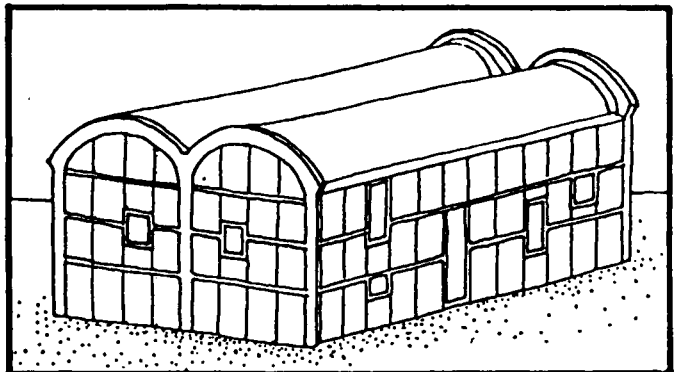
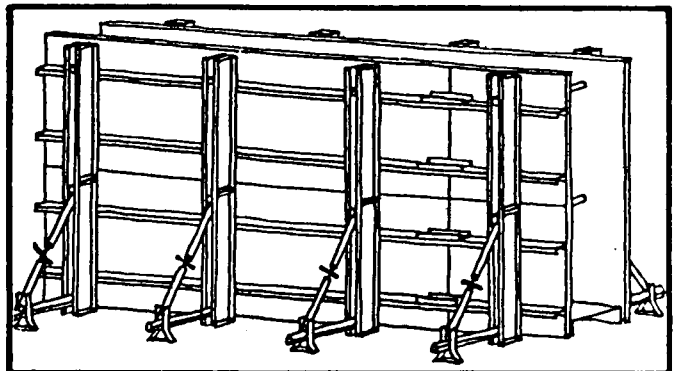
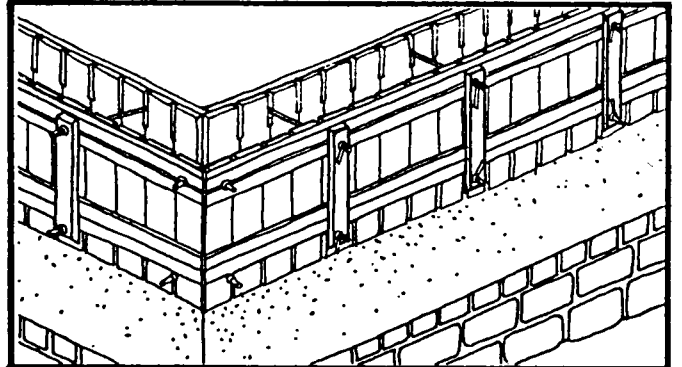
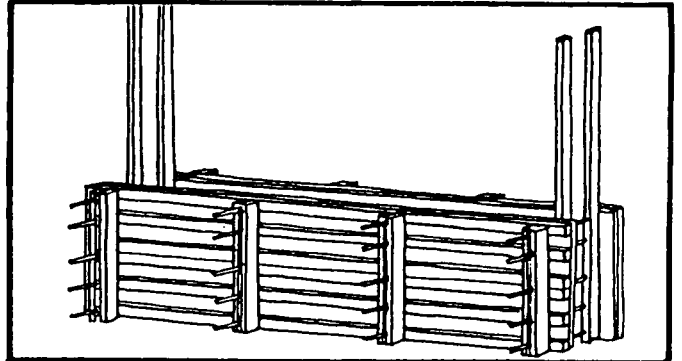
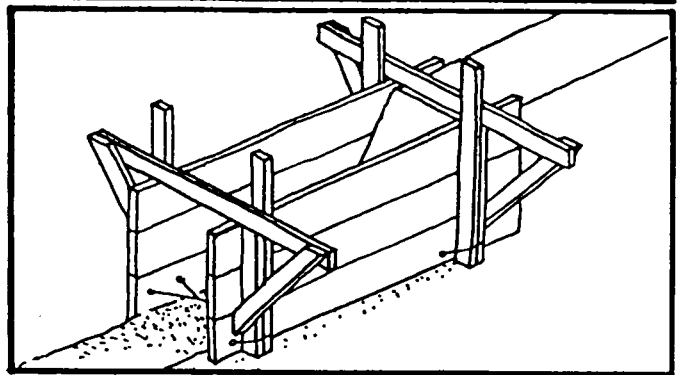
2 - COFFRAGES INTEGRAUX

Cette option du coffrage intégral, totalement inspirée de la technologie du béton doit être envisagée avec beaucoup de circonspection. La plupart des tentatives de travail dans ce sens ont été assez décevantes quant aux rendements. La fiabilité de ce principe est étroitement dépendante de la conception architecturale : dimensions modulaires, murs pleins à baies indépendantes, plans de grande simplicité, etc ...

- 1 - INTEGRAL HORIZONTAL : Une ceinture de coffrages intégraux, horizontale est déplacée verticalement dans sa totalité. La légèreté de matériel, la facilité et la rapidité de montage et de démontage sont indispensables. Les problèmes principaux sont les connexions entre les panneaux, l'horizontalité et le maintien de l'aplomb.

- 2 - INTEGRAL VERTICAL : Ce type de coffrages est plutôt adapté à la construction de murs trumeaux de grandes dimensions coffrés en toute hauteur. Afin de faciliter le damage, on n'érige qu'une face entièrement et la deuxième au fur et à mesure que l'on monte avec le mur.

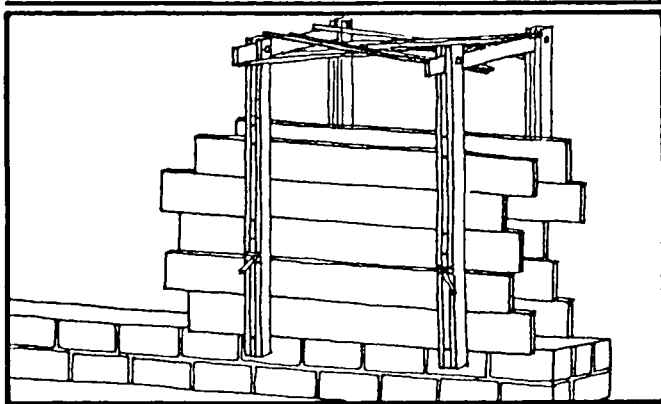
- 3 - INTEGRAL - INTEGRAL : Le bâtiment est coffré en entier, d'un seul coup; Ce principe a été adopté au Maroc p.e. dans le projet BTS '67. Les projets doivent être de petite taille et simples et l'accès dans le coffrage aisé.



PISE : TYPES DE COFFRAGE

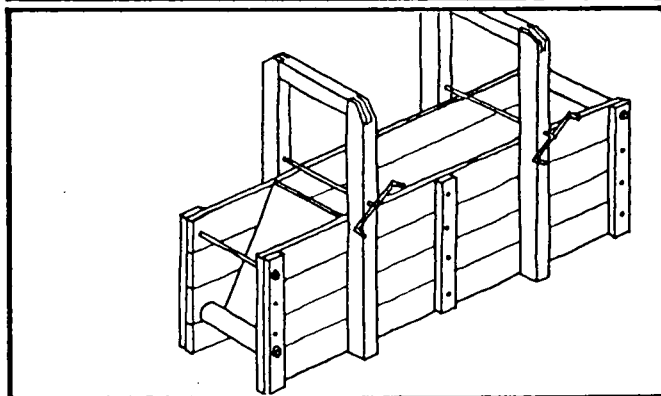
DEPLACEMENT DES COFFRAGES

Le déplacement d'un coffrage devient tout un problème pour les ouvriers quand ils sont juchés à 7 m de hauteur sur un mur en pisé de 40 cm d'épaisseur. La sécurité du travail est primordiale. En règle générale, la maniabilité et la légèreté du matériel aident à assurer une bonne sécurité. Des moyens ont été cherchés pour éviter un démontage de l'ensemble du matériel et un remontage intégral après déplacement.



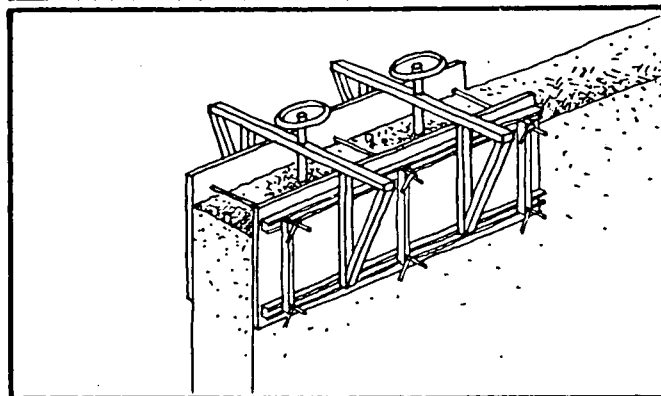
1 - COFFRAGES A PORTIQUE

Le principe est préférentiellement adapté à la construction de panneaux de murs en trumeaux. Les coffrages sont légers, de simples planches, panneaux de contre-plaqué ou même de rondins, qui sont maintenus par des potences en bois fichées dans le sol et serrées en haut : le principe du pisé chinois est de ce type. Le G.H.K. de Kassel a réactualisé ce principe avec un système de portique articulé en bois et un serrage par tiges filetées.



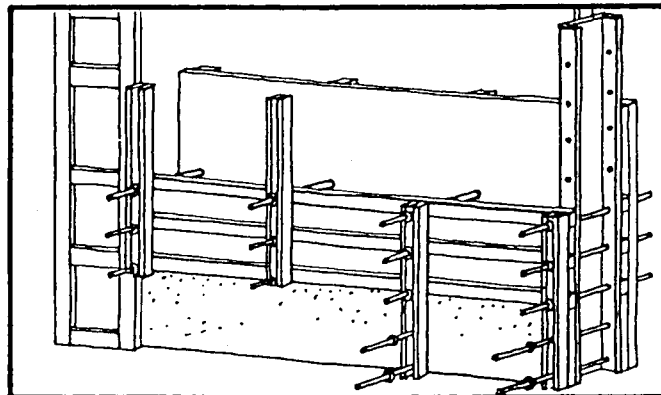
2 - COFFRAGES A ROULEAUX

Le principe d'une banche mobile à progression horizontale, grâce à des rouleaux, a été imaginé en Australie dès 1952, par G.F. Middleton. Ce système est adapté pour la construction de murs droits mais exige l'emploi d'éléments de coffrage fixes pour les baies, les angles de murs et les liaisons de murs de refend.



3 - COFFRAGES GLISSANTS

Différentes tentatives ont été faites pour adapter les systèmes de coffrages glissants pour béton. Jusqu'à présent, les propositions connues restent assez onéreuses mais fonctionnent assez bien.



4 - COFFRAGES SAUTEURS

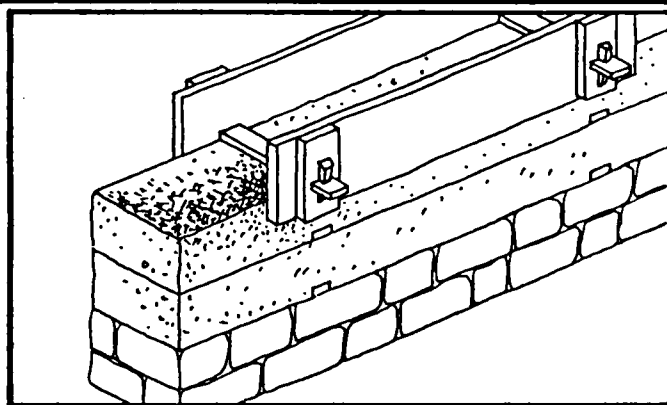
La progression des coffrages est verticale par sauts successifs des panneaux. Le principe a été réactualisé par le Ramed Earth Institute International, Colorado, USA. Deux jeux de panneaux de coffrage sont nécessaires. Le panneau n° 1 passera en position 3 puis 5; le panneau 2 passera en position 4 puis 6. Ce système est assez performant mais ne résoud pas le problème des angles de murs et de leur liaison. L'avantage principal est que le panneau inférieur sert de support et de référence pour le suivant.

CONFIGURATIONS DES COFFRAGES

La plupart des coffrages connus, qu'ils soient en progression horizontale ou verticale, sont conçus sur le principe de panneaux droits qui donnent des surfaces planes. Différentes recherches ont été menées pour échapper à cette seule configuration.

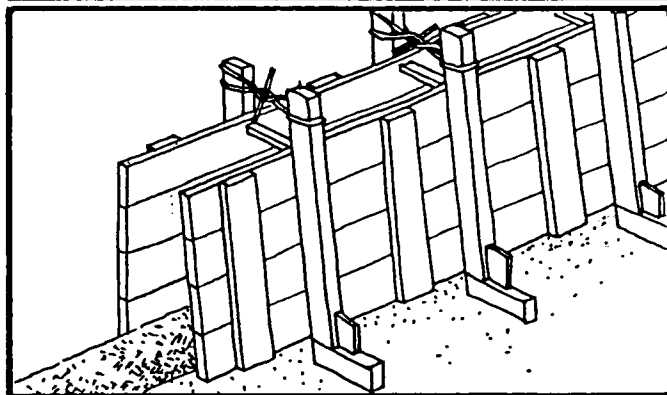
1 - SURFACES PLANES ET DROITES

C'est la configuration la plus fréquente, autant employée dans la construction traditionnelle en pisé que contemporaine, quels que soient les coffrages. Le principe est simple et n'exige pas une problématique très élaborée.



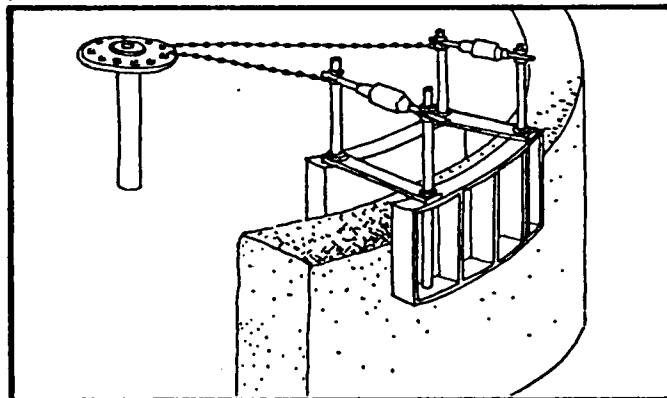
2 - FRUIT SUR MUR

Ces coffrages peuvent produire des surfaces planes droites ou des surfaces planes inclinées autrement nommées "fruit du mur". L'inclinaison est progressive au fur et à mesure de l'élévation du mur, vers le centre du mur. Le fruit peut être sur la seule face extérieure du mur ou sur les 2 faces et de simples cales et coins en bois appelés "fixe fruits" permettent cette configuration. Ce fruit allège la masse du mur en montant.



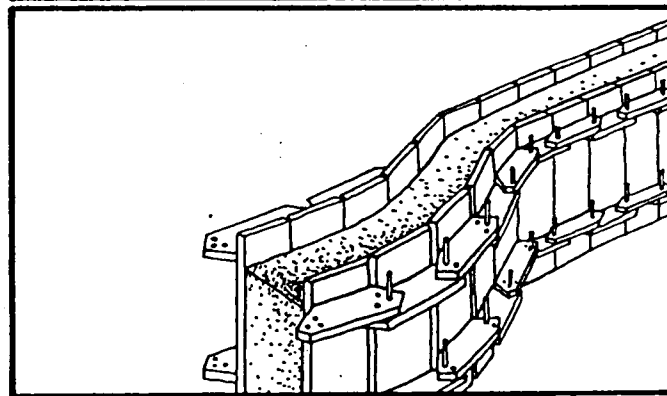
3 - SURFACES COURBES

Certains types de coffrages permettent de produire des formes courbes. Ce peut être une courbure des murs aux angles ou même des bâtiments à murs courbes. La tradition chinoise du pisé connaît le principe avec les "bâtiments ronds" des Hakka du Plateau Central. Un projet récent en France, dans le cadre du village Terre de l'Isle d'Abeau s'est attaché à développer ces formes.



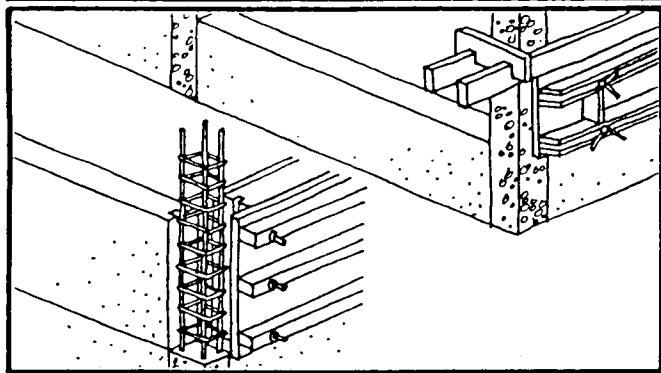
4 - CONFIGURATION MIXTE A FACETTES

Un système de coffrage à panneaux modulaires de petites dimensions permet d'engendrer des surfaces droites à facettes. Ce principe est adapté à la production de formes très variées, y compris des poteaux de géométrie variable en section. Le système est de conception assez lourde mais le principe demeure intéressant et doit évoluer vers un allègement.



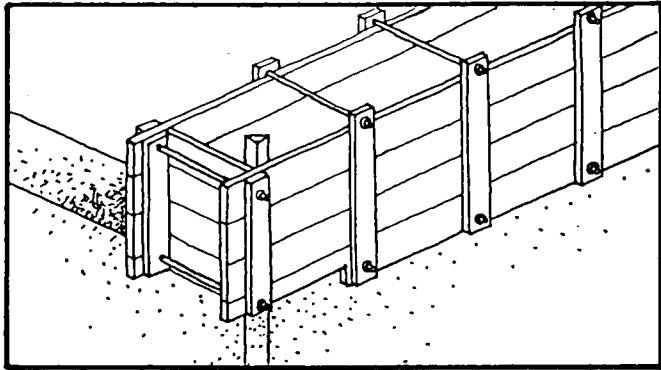
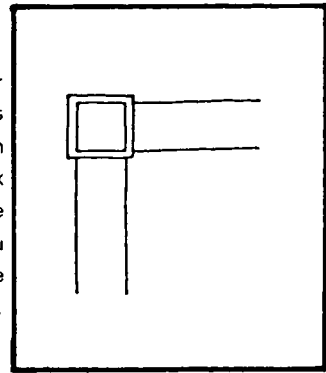
PISE : COFFRAGES D'ANGLE

Les angles de mur en pisé exigent l'emploi de coffrages adaptés. La modulation prévue du coffrage pour les pans de murs droits peut être remise en question par un manque d'attention accordé au problème de l'angle. Les angles peuvent être réalisés d'une pièce ou par chevauchement alterné et perpendiculaire des banchées. On prévoiera la pose d'un chanfrein pour réduire l'érosion de l'angle extérieur. Les systèmes en "T", de liaison murs de refend adoptent les mêmes principes.



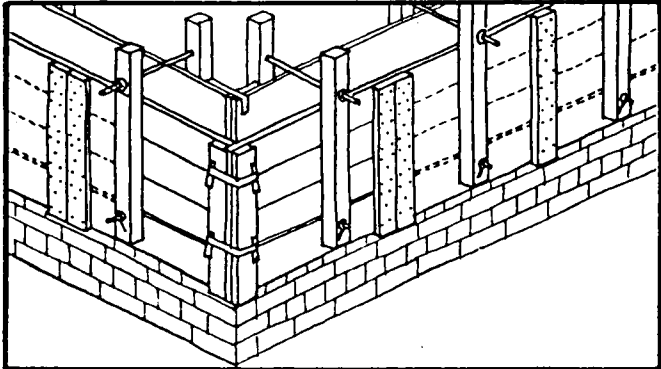
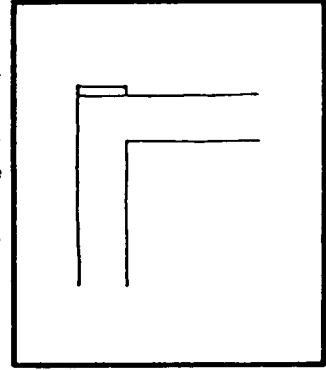
1 - POTEAU D'ANGLE

Il peut être réalisé en béton et coulé avant ou après la réalisation des murs en pisé (système Ceped et aux USA). L'angle peut être aussi maçonné en pierres ou en briques mais doit être harpé au pisé (traditionnel).



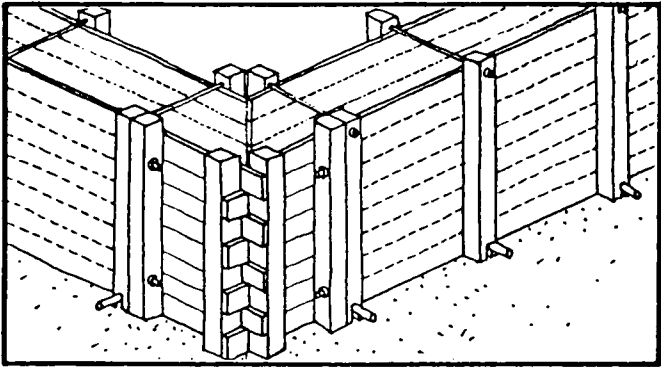
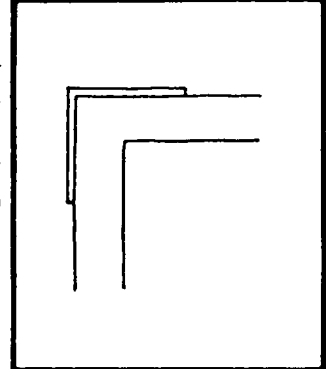
2 - FOND DE BANCHE

Système employé dans la tradition marocaine du pisé. Le principe rejoint l'appareil de briques. L'angle résulte d'un chevauchement perpendiculaire des banchées dans les deux directions.



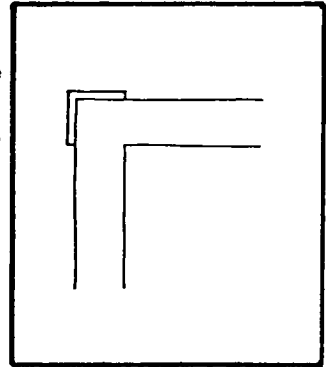
3 - NON MODULE

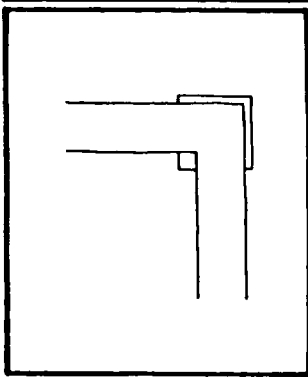
Chaque angle est réalisé par une pièce spéciale qui s'adapte aux circonstances spécifiques engendrées par l'emploi d'un coffrage non modulaire.



4 - MODULE

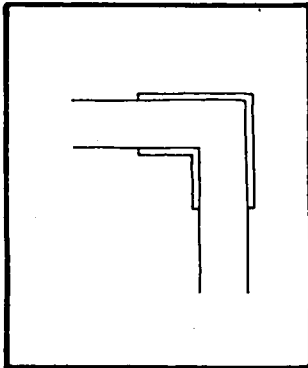
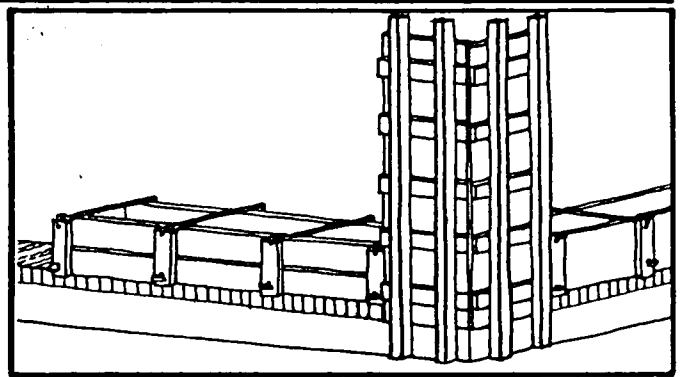
L'angle est réalisé d'une pièce, toujours en accolant les deux panneaux de banche intérieurs mais en coffrant l'extérieur avec un coffrage modulé. Le calepinage et les côtés hors oeuvre doivent être très précis.





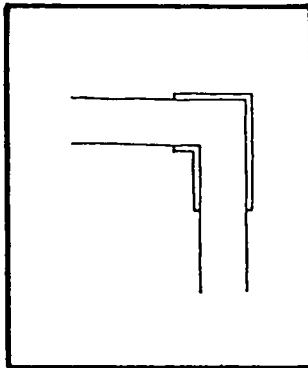
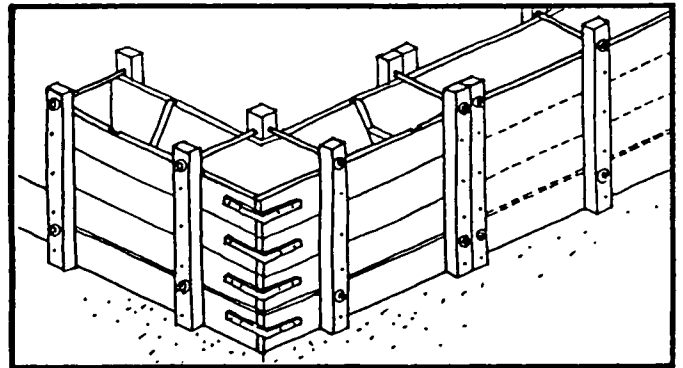
5 - ANGLE INTEGRAL

Le système peut prévoir la pose d'un coffrage d'angle intégral toute hauteur et résoud les problèmes d'aplomb et d'ajustage très fastidieux.



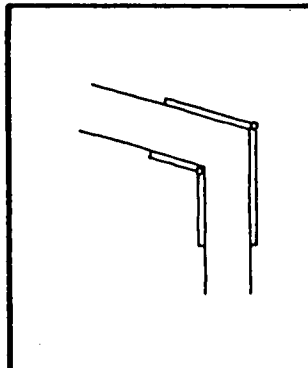
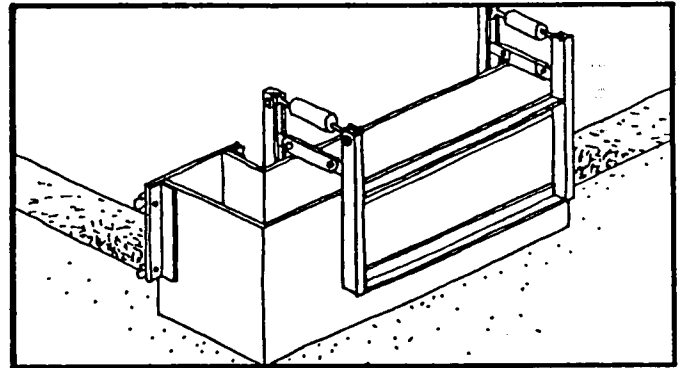
6 - SYMETRIQUE

Le coffrage est modulé et symétrique en face interne et externe. Le système résoud les problèmes d'ajustage de panneaux mais ne supprime pas la possibilité d'un coup de sabre à l'angle.



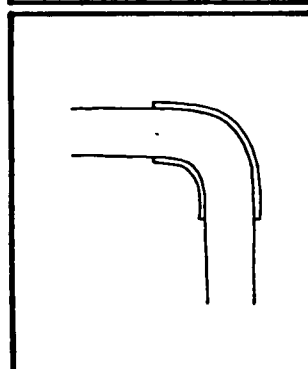
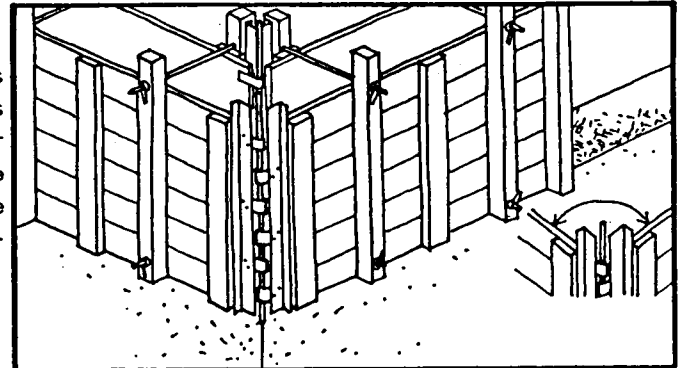
7 - ASSYMETRIQUE

Système plus judicieux que le principe de l'angle complet symétrique car les coffrages peuvent être inversés et permettre la suppression du coup de sabre à l'angle.



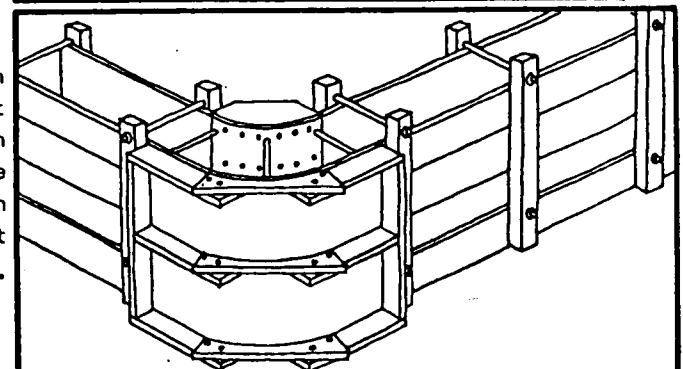
8 - VARIABLE

Les systèmes de charnières ou de paumelles métalliques permettent de faire varier l'angle du coffrage. Le système est délicat et pose toujours des problèmes d'ajustage des coffrages.



9 - ARRONDI

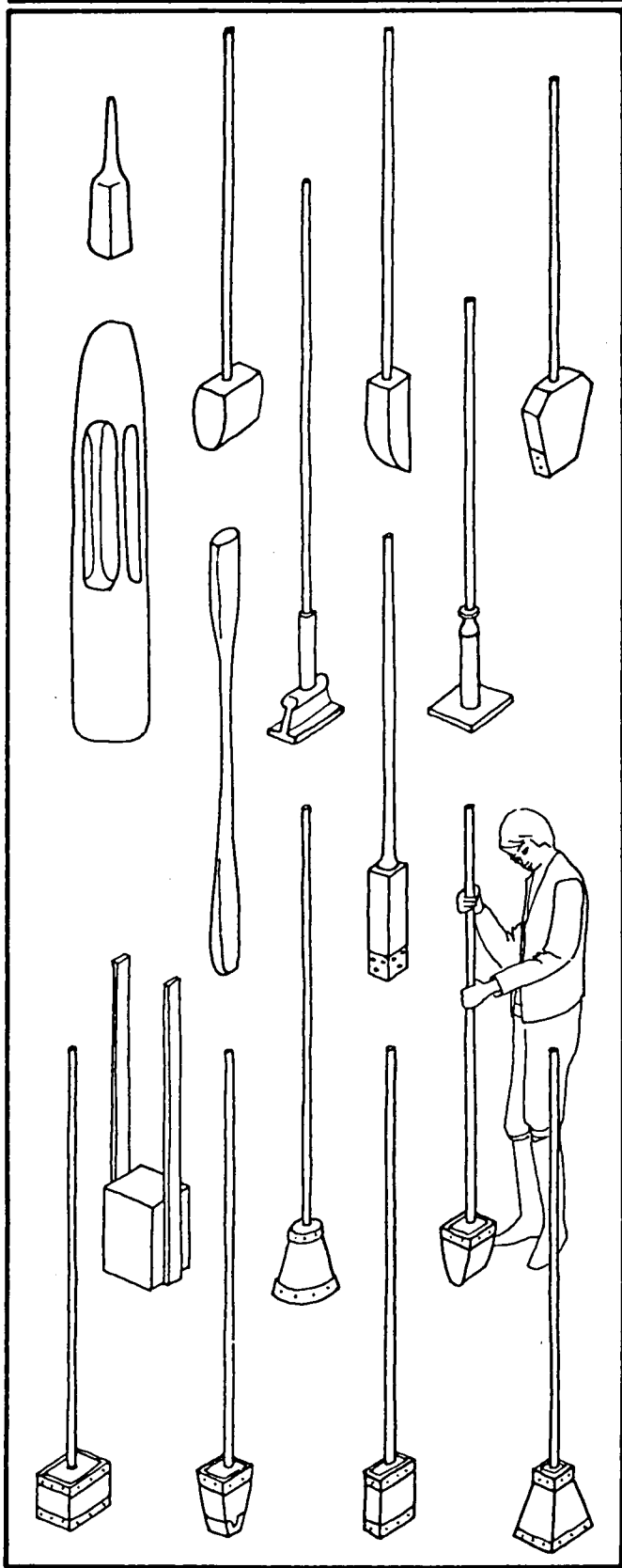
L'angle exige la conception de coffrages spécialement adaptés, sur chantier, en fonction du cas de figure architectural. Opération très délicate, coûteuse et difficile à mettre en place.



PISE : DAMES

DAMES TRADITIONNELLES

Elles sont conçues pour un damage manuel du pisé et consistent en une masse de bois ou de métal lestée d'un manche. La diversité de cet outil et du vocabulaire qui le désigne, dans le monde entier, est très grande. Dans certains pays, on utilise plusieurs sortes de dames pour le même ouvrage, selon le travail à effectuer.



1 - PARAMETRES

Les principaux facteurs intervenant dans la conception d'une dame traditionnelle manuelle, sont les suivants : matériau, poids, surface, forme et section de frappe, type de manche et taille.

2 - SECTIONS DE FRAPPE

Elles sont très diverses et leur avantage est plus ou moins discuté. De forme ronde, elles préservent les coffrages mais sont moins efficaces dans les angles. Un arrondi des arêtes suffit à ne pas abîmer les coffrages. C'est la forme prismatique à surface de frappe plane qui donne les meilleurs résultats, tels qu'ont pu l'établir des recherches très poussées. Les angles de frappe à 60° semblent donner des résultats presque similaires mais plus on ferme l'angle plus l'efficacité diminue. Ainsi, un angle de frappe de 45° peut faire perdre jusqu'à 30 % d'efficacité. Des formes spéciales, en cône, en coin, permettent d'accéder dans des endroits difficiles (angles de coffrage ou sous les clés).

3 - SURFACE DE FRAPPE

Elle se situe préférentiellement aux alentours de 64 cm². Les recherches montrent que pour la meilleure efficacité, il convient de ne pas dépasser une section de 225 cm².

4 - TETE DE FRAPPE

Elle est le plus souvent en bois ou métallique. Pour les dames en bois, la tête de frappe est protégée par une plaque métallique afin de réduire son érosion trop rapide. Les dames métalliques sont plus solides et maniables car leur tête est plus petite. Leur poids est supérieur et la section de frappe doit être suffisante pour éviter le poinçonnement.

5 - POIDS

Le poids recommandé d'une dame en bois ou métallique est de 5 à 9 kg. Ce poids peut varier selon la taille de la dame et la force du piseur.

6 - MANCHE

Le manche des dames peut être simple ou double (Pérou), en bois ou en métal. Un manche creux permet de lester la dame à souhait. La taille du manche est ajustée au piseur, entre 1,30 m et 1,60 m. Il existe aussi des manches pourvus d'une masse coulissante qui impriment un double coup.

Le damage est une tâche lente et fastidieuse, fatigante mais qui est facilitée par la cadence du travail. On a parfois recours à une mécanisation. Les engins sont divers et pour la plupart lourds; ils exercent de fortes poussées sur les banches qui doivent pouvoir résister. Chaque engin a une énergie de compactage variable qui dépend du rapport entre le nombre de passes, la vitesse de passage et l'épaisseur des couches de terre foisonnée à compacter. Les coûts sont très variables de 350 à 1 500 US \$.

1 - DAMAGE PAR IMPACT

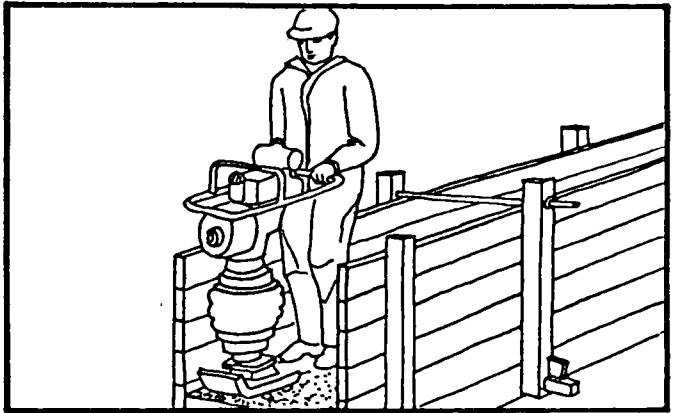
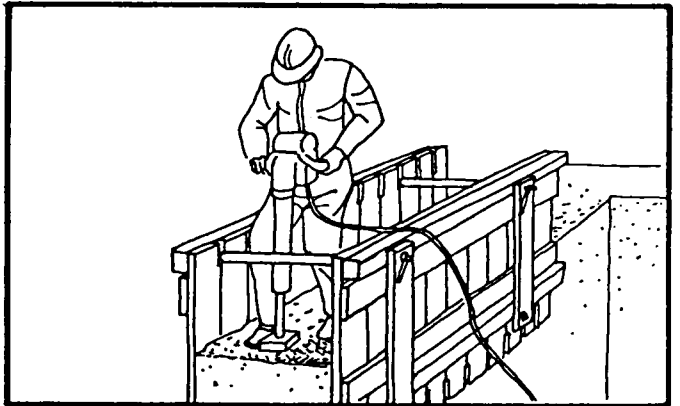
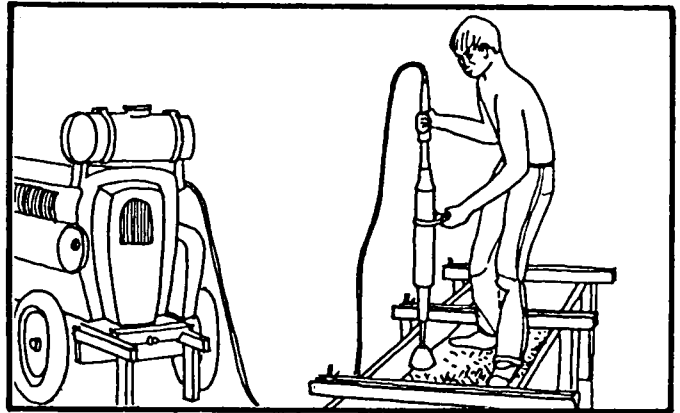
- 1 - FOULOIRS PNEUMATIQUES : Ils sont directement hérités de l'industrie de la fonderie où ils servent à tasser le sable dans les moules. Leur mode de travail imite celui d'une dame manuelle mais avec une plus grande fréquence d'impacts (jusqu'à 700 coups/minute). Seuls les fouloirs de "sol" sont intéressants et le marché en abonde (Atlas Copco, Ingersoll-Rand, Perret, etc ...). Les fouloirs pneumatiques ne doivent pas être trop lourds (15 kg maxi) ni trop puissants car ils peuvent déstabiliser les coffrages et foisonner le pisé. Leur course doit être longue, d'environ 20 cm et l'alimentation en air modérée. La pression doit atteindre 5 daN/cm², guère plus. Les compresseurs demeurent très chers (environ 5 000 US \$). Néanmoins, un damage au fouloir pneumatique est très efficace et donne, avec de bonnes terres, d'excellents pisés.

- 2 - MARTEAUX PIQUEURS : L'idée de transformer un marteau piqueur en lui adaptant une plaque de damage a été tentée. Ces engins demeurent trop puissants et peuvent faire entrer les murs en résonance, causant un délitage du matériau.

2 - DAMAGE PAR VIBRATION

- 1 - PLAQUES VIBRANTES : Le système a été mis au point par le G.H.K. de Kassel : un moteur électrique à masse rotative excentrée imprime des vibrations à la plaque et met l'engin en mouvement. Un interrupteur permet de choisir le sens de marche de l'engin qui fonctionne automatiquement. Le rapport entre le poids de l'engin, la vitesse de passage et la fréquence de vibration est difficile à affiner.

- 2 - DAMES VIBRANTES : Les modèles existent en version motorisée thermique ou électrique. Ces engins demeurent très lourds, encombrants et coûteux. Leur emploi qui a fait l'objet de plusieurs tentatives peu démonstratives est à déconseiller.



RENDEMENTS

L'étude des statistiques d'une dizaine de chantiers, et l'analyse des données de la littérature spécialisée donnant des indications précises sur les moyennes des temps d'exécution du pisé d'un grand nombre de constructions, a permis de regrouper les temps d'exécution en 4 groupes.

1. BANCHE INDIVIDUELLE.

Réalisation d'1 m3 de pisé en ne tenant compte que de la mise en oeuvre d'une seule banchée, qui correspond au montage de la banche, son remplissage, son damage et son démontage.

2. MAISON BANCHEE.

Le m3 de pisé réalisé est comptabilisé en incluant les opérations du 1er groupe et en y ajoutant toutes les manipulations pour les ouvertures, chaînages ... c'est à dire en prenant en compte la réalisation complète du gros oeuvre.

3. MAISON BANCHEE + PREPARATION DE LA TERRE.

La réalisation d'1 m3 de pisé comprend les opérations du 2ème groupe avec en plus, le temps de préparation de la terre c'est à dire le criblage, le malaxage, la mise à la bonne teneur en eau, etc...

4. MAISON BANCHEE + PREPARATION DE LA TERRE + EXTRACTION DE LA TERRE.

Réalisation d'1 m3 de pisé en ajoutant aux opérations du 3ème groupe, le temps d'extraction à la carrière et le transport.

Dans les 4 graphiques qui suivent et qui correspondent aux quatre groupes identifiés, on analyse systématiquement les plages des temps d'exécution, en indiquant les conditions de réalisation des opérations. Les chantiers avec les opérations manuelles sont séparés des chantiers avec opérations mécanisées. On y trouve également des critères de conditions idéales ou très mauvaises que l'on repère par les lettres

- A : Chantier réalisé dans de très bonnes conditions
- B : Chantier réalisé dans de bonnes conditions
- C : Chantier réalisé dans de mauvaises conditions
- D : Chantier réalisé dans de très mauvaises conditions.


Les conditions correspondant à ces repères A, B, C, D, sont décrites dans le tableau suivant. Ces descriptions sont données à titre d'exemple car les conditions changent suivant chaque chantier. En effet, il suffit qu'un des postes (carrières ou coffrage ou M.O. ou architecture) soit mal adapté pour que tout le chantier se retrouve qualifié comme étant dans des conditions B ou C ou D. Dans l'exemple : condition C correspond à Carrière - bien

Coffrage - inadapté
M. O. - bien
Architecture - inadaptée

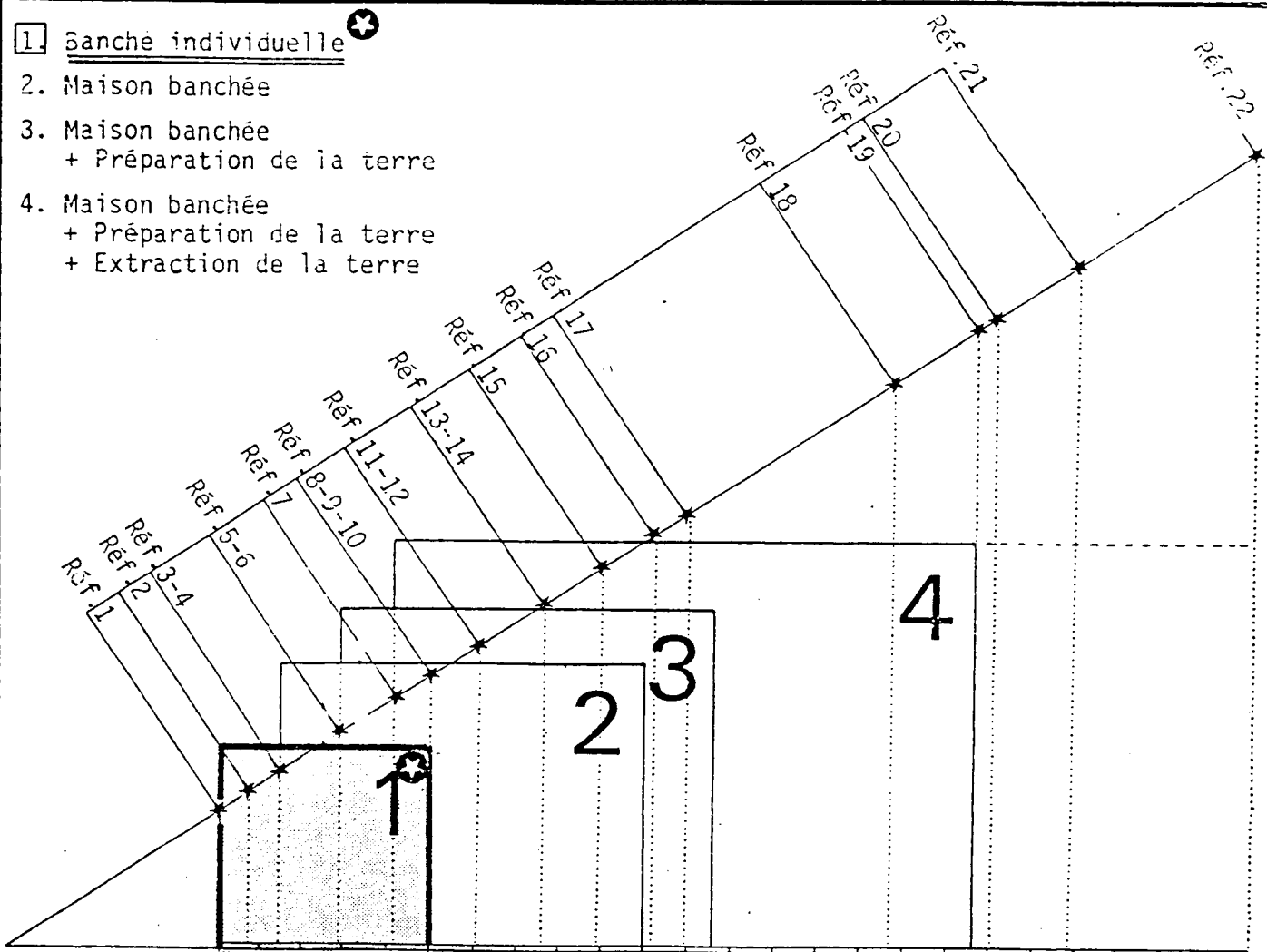
	CARRIERE + PREPARATION TERRE	COFFRAGE	MAIN D'OEUVRE	ARCHITECTURE
A	<ul style="list-style-type: none"> . Front uniforme . Facile d'accès . Proche . Bonne teneur en eau . Bonne granulométrie . Outils adaptés . Main d'oeuvre qualifiée . Aire de préparation prévue : stockage, malaxage, élévation 	<ul style="list-style-type: none"> . Simple . Léger . Manipulation en cours de montage et de démontage facile et rapide . Outils de damage adaptés 	<ul style="list-style-type: none"> . Expérimentée et qualifiée 	<ul style="list-style-type: none"> . Simplification des murs, angles et ouvertures . Qualité de la conception en liaison avec la mise en oeuvre particulière du matériau
B	<ul style="list-style-type: none"> . Mêmes conditions que A 	<ul style="list-style-type: none"> . Mêmes conditions que A 	<ul style="list-style-type: none"> . Main d'oeuvre sans expérience 	<ul style="list-style-type: none"> . Mêmes conditions que A
C	<ul style="list-style-type: none"> . Mêmes conditions que A 	<ul style="list-style-type: none"> . Lourd et inadapté 	<ul style="list-style-type: none"> . Mêmes conditions que A 	<ul style="list-style-type: none"> . Mauvaise modulation . Murs et ouvertures compliqués
D	<ul style="list-style-type: none"> . Mêmes conditions que A . Main d'oeuvre non-qualifiée 	<ul style="list-style-type: none"> . Lourd et inadapté ou . Trop de pièces à monter et manipuler 	<ul style="list-style-type: none"> . Main d'oeuvre non-qualifiée 	<ul style="list-style-type: none"> . Mêmes conditions que A

TEMPS D'EXECUTION en nombre d'heures par m3

PISE

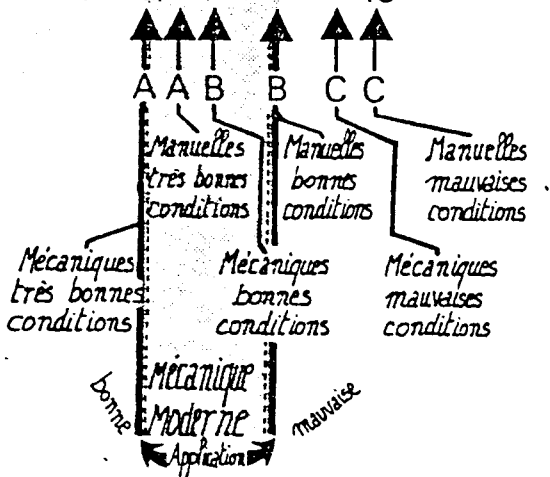
1. Sanché individuelle 

- 2. Maison banchée
- 3. Maison banchée
+ Préparation de la terre
- 4. Maison banchée
+ Préparation de la terre
+ Extraction de la terre



HEURES :

5 10 15 20 25




OPERATIONS MANUELLES ou MECANISEES

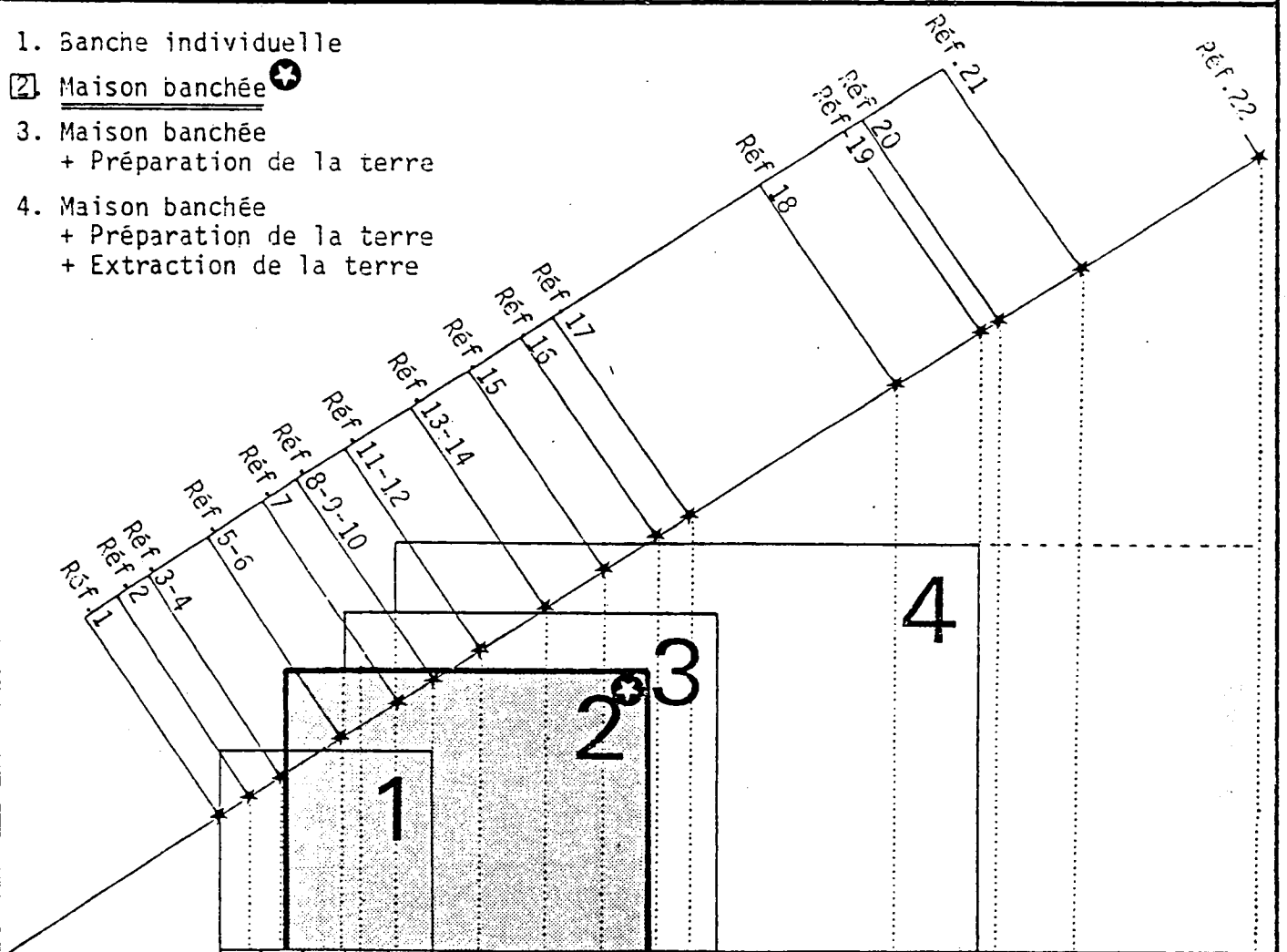
- A. Dans de très bonnes conditions
- B. Dans de bonnes conditions
- C. Dans de mauvaises conditions
- D. Dans de très mauvaises conditions

Suivant la qualité de la carrière, des coffrages, de la main d'oeuvre, de la conception architecturale ...

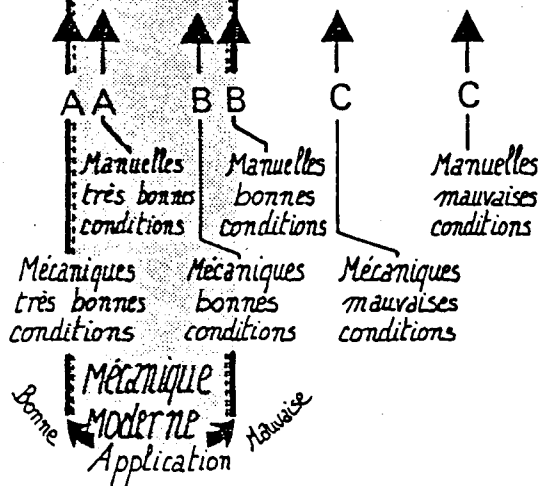
TEMPS D'EXECUTION en nombre d'heures par m3

PISE

- 1. Banche individuelle
- 2. Maison banchée 
- 3. Maison banchée
+ Préparation de la terre
- 4. Maison banchée
+ Préparation de la terre
+ Extraction de la terre



HEURES : 5 10 15 20 25



OPERATIONS MANUELLES ou MECANISEES

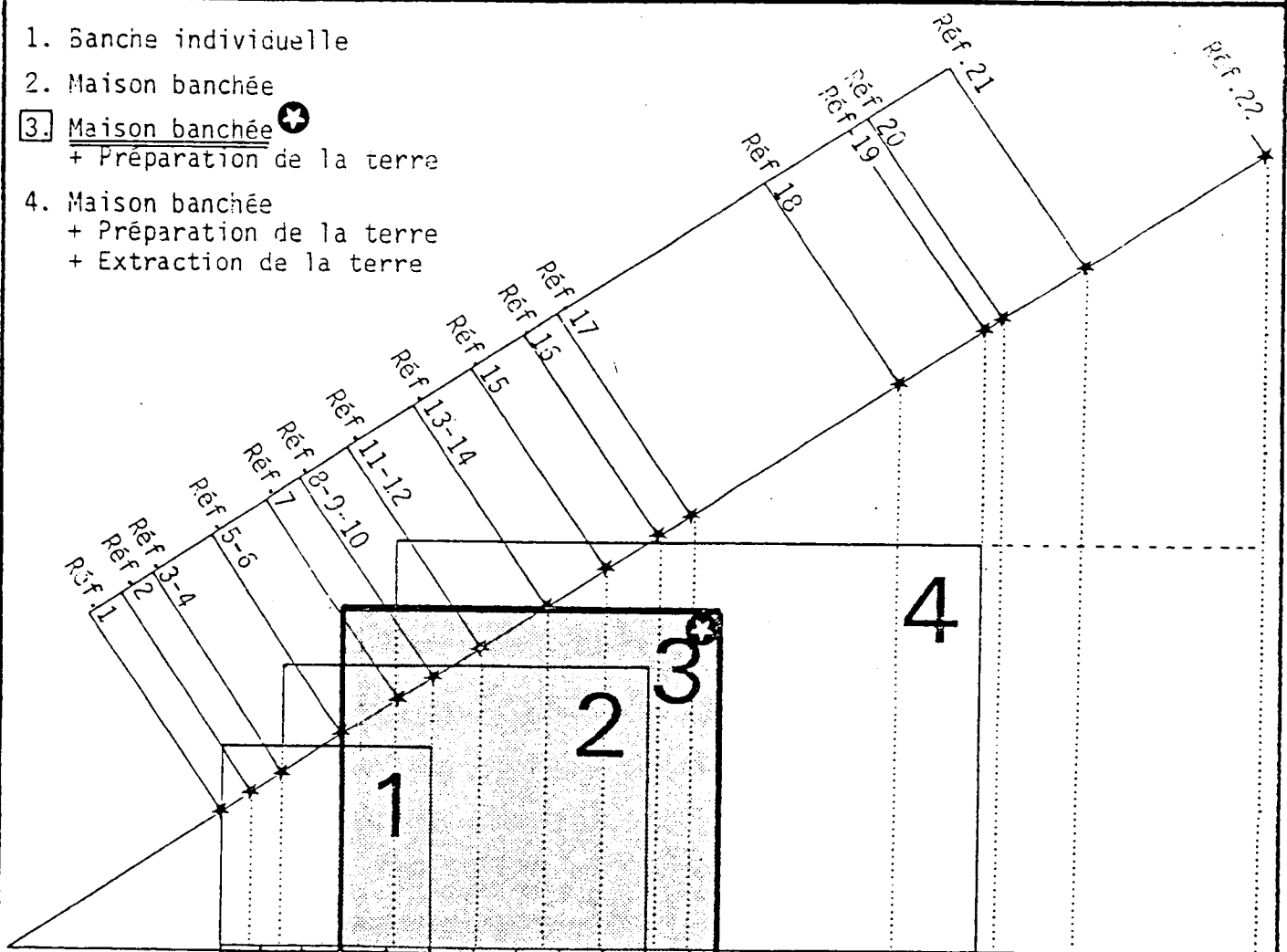
- A. Dans de très bonnes conditions
- B. Dans de bonnes conditions
- C. Dans de mauvaises conditions
- D. Dans de très mauvaises conditions

Suivant la qualité de la carrière, des coffrages, de la main d'oeuvre, de la conception architecturale ...

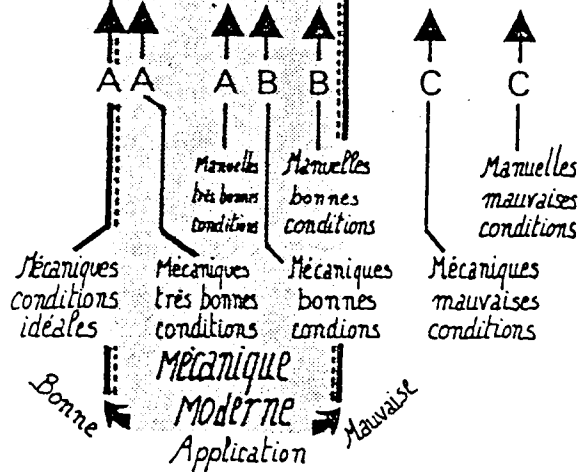
TEMPS D'EXECUTION en nombre d'heures par m3

PISE

1. Banche individuelle
2. Maison banchée
3. Maison banchée ⊕
+ Préparation de la terre
4. Maison banchée
+ Préparation de la terre
+ Extraction de la terre



HEURES: 5 10 15 20 25



OPERATIONS MANUELLES OU MECANISEES

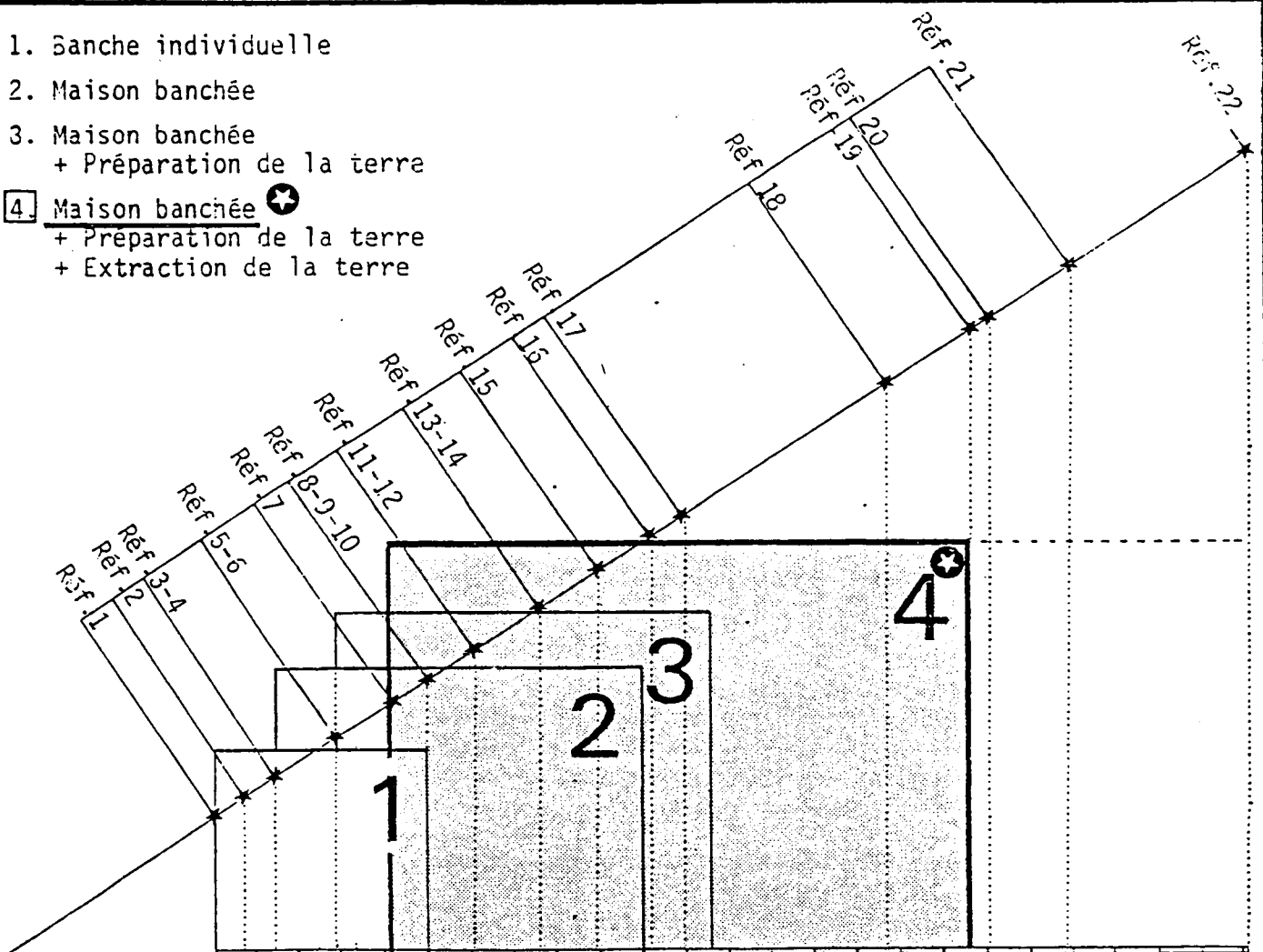
- A. Dans de très bonnes conditions
- B. Dans de bonnes conditions
- C. Dans de mauvaises conditions
- D. Dans de très mauvaises conditions

Suivant la qualité de la carrière, des coffrages, de la main d'oeuvre, de la conception architecturale ...

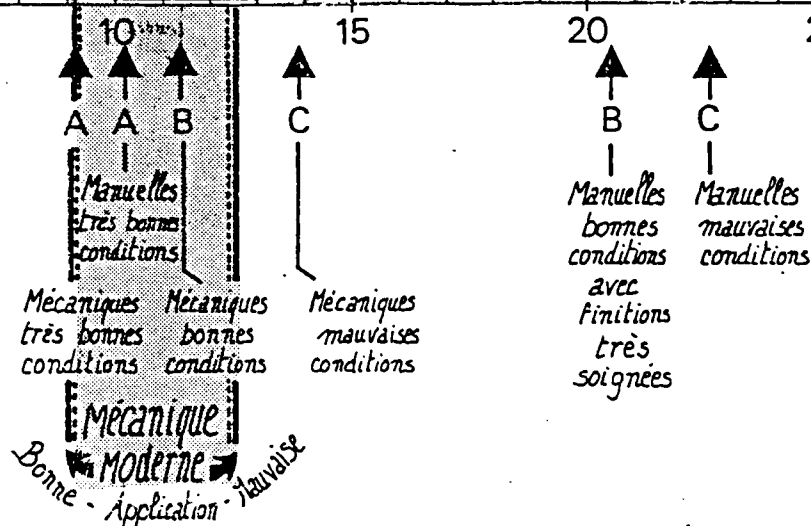
TEMPS D'EXECUTION en nombre d'heures par m3

PISE

1. Banche individuelle
2. Maison banchée
3. Maison banchée
+ Préparation de la terre
4. Maison banchée [★]
+ Préparation de la terre
+ Extraction de la terre



HEURES : 5 10 15 20 25



OPERATIONS MANUELLES ou MECANISEES

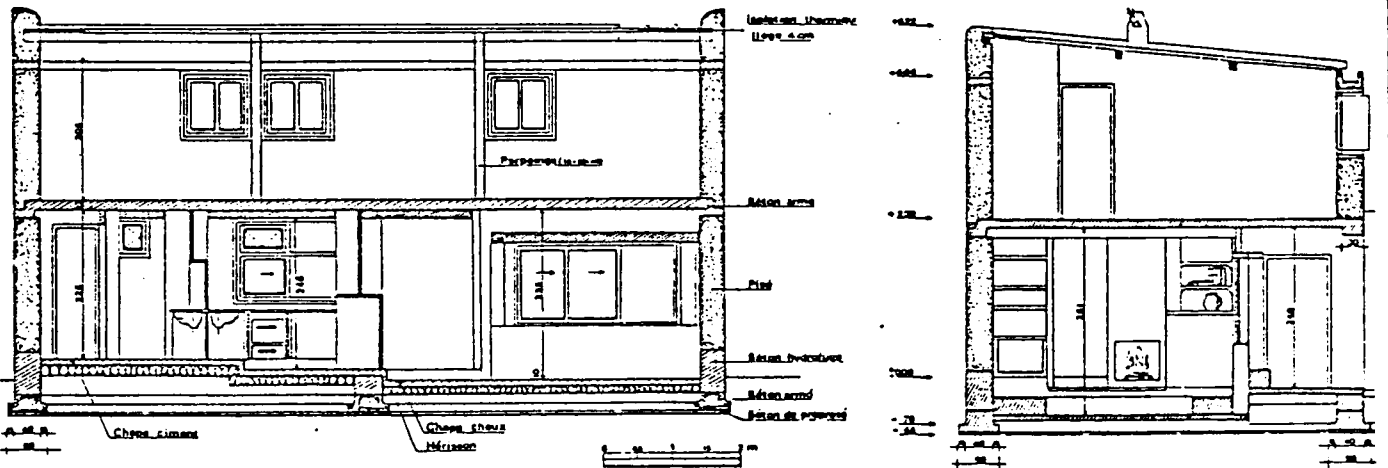
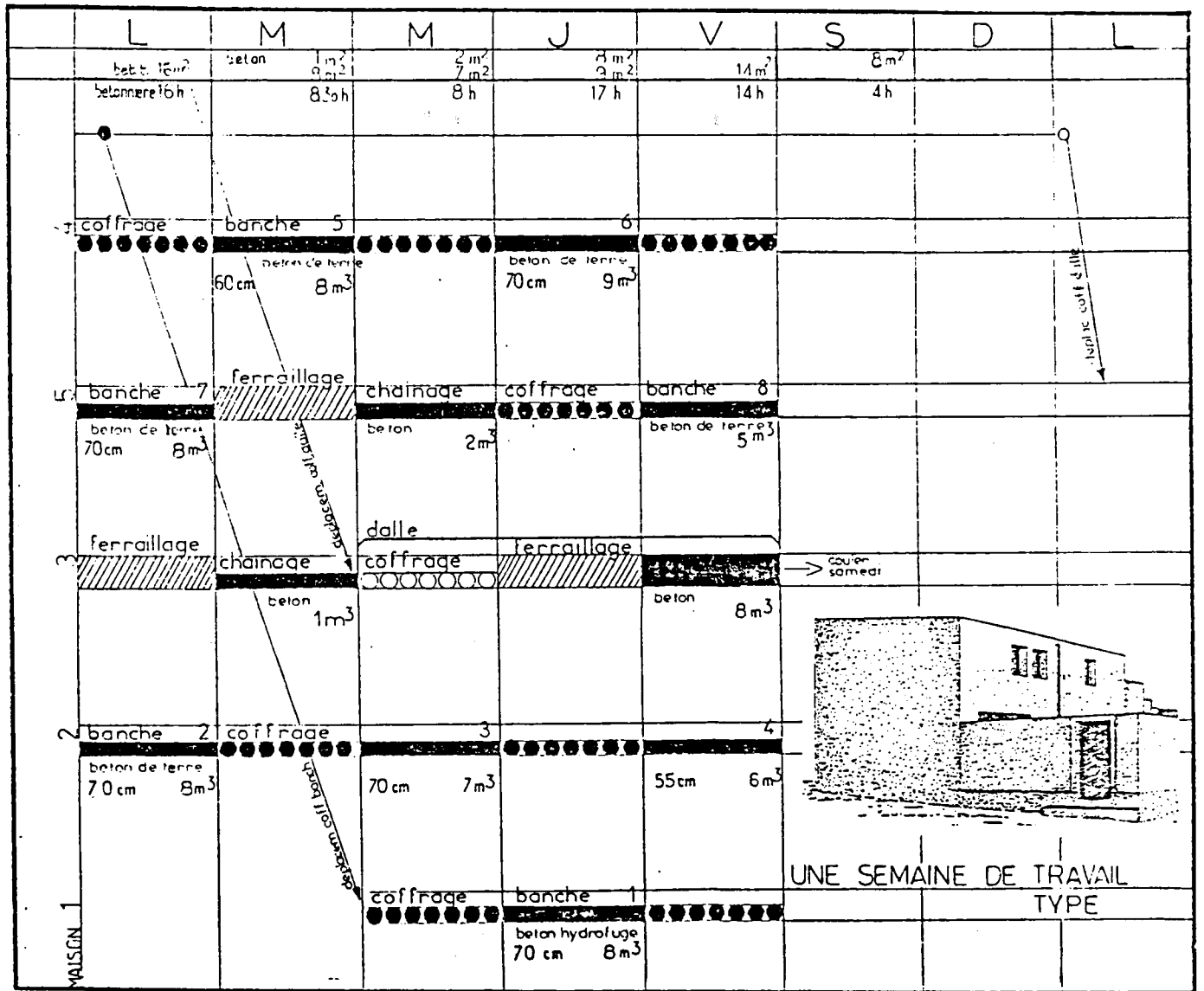
- A. Dans de très bonnes conditions
- B. Dans de bonnes conditions
- C. Dans de mauvaises conditions
- D. Dans de très mauvaises conditions

Suivant la qualité de la carrière ,
des coffrages, de la main d'oeuvre,
de la conception architecturale ...

PLANIFICATION

GANCHAGE D'UNE MAISON EN PISE

PLANNIFICATION



CARACTERISTIQUES

CARACTERISTIQUES MECANQUES	S	U	PISE TYPES			
			1	2	3	4
RESISTANCE A LA COMPRESSION SEC A 28 JOURS (+40% après 1 an, +50% après 2 ans)	Rc 28	daN/cm ²	≈20	20 50		
RESISTANCE A LA COMPRESSION HUMIDE A 28 JOURS	Rc h 28	daN/cm ²	0 5	>20		
RESISTANCE A LA TRACTION SEC A 28 JOURS	t 28	daN/cm ²		10 20		
RESISTANCE A LA TRACTION SEC A 28 JOURS	t 28	daN/cm ²	5 10			
RESISTANCE A LA FLEXION SEC A 28 JOURS	t 28	daN/cm ²	5 10			
RESISTANCE AU CISAILLEMENT SEC A 28 JOURS	t 28	daN/cm ²	≈5			
COEFFICIENT DE POISSON	μ			0,15 0,35		
MODULE DE YOUNG	E	daN/cm ²		7000 70000		
MASSE VOLUMIQUE APPARENTE	P	Kg/m ³	1700 2200	1700 2200		
UNIFORMITE DES DIMENSIONS			FAIBLE	FAIBLE		

CARACTERISTIQUES STATIQUES	S	U	PISE TYPES			
			1	2	3	4
RESISTANCE A L'IMPACT TANGENTIEL D'UN CORPS MOU (hauteur de départ d'un sac de sable de 27 kg)		m	2 3	1 2		
RESISTANCE A L'ECRASEMENT PAR CHARGE EXCENTRIQUE	R		0,3 0,4	>0,5		
RESISTANCE A LA FLEXION (pression horizontale uniforme)		MPa	2. 10E-3 3. 10E-3	5. 10E-3 6. 10E-3		
RESISTANCE A UNE POUSSEE HORIZONTALE LOCALISEE		N	>4500	>4500		
COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE		mm/m °C		0,01 0,015		

CARACTERISTIQUES HYDRIQUES	S	U	PISE TYPES			
			1	2	3	4
GONFLEMENT		mm/m				
RETRAIT		mm/m				
RETRAIT DE SECHAGE		mm/m	1 2	1 2		
PERMEABILITE		mm/s		1. 10E-5		
ABSORPTION D'EAU PAR LA FACE A ENDUIRE		% (poids)				
ABSORPTION TOTALE		Kg/m3		10 20		
SUSCEPTIBILITE A LA GELIVITE			SENSIBLE	PEU		
SUSCEPTIBILITE AUX EFFLORESCENCES			PEU	PEU		
DURABILITE SOUS EXPOSITIONS AUX INTEMPERIES			MOYEN	EXCEL.		

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES	S	U	PISE TYPES			
			1	2	3	4
CHALEUR SPECIFIQUE	C	KJ/Kg	≈0,85	0,65 0,85		
COEFFICIENT DE CONDUCTION	lambda	W/m °C	0,81 0,93	0,81 0,93		
COEFFICIENT D'AMORTISSEMENT (mur de 40 cm)	m	%	5 10	5 10		
COEFFICIENT DE DEPHASAGE (mur de 40 cm)	d	h	10 12	10 12		
COEFFICIENT D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE (mur de 40 cm à 500 Hz)		dB	50	50		
COEFFICIENT D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE (mur de 20 cm à 500 Hz)		dB	50	50		
RESISTANCE AU FEU			BON	BON		
INFLAMMABILITE						
VITESSE DE PROPAGATION DES FLAMMES						

PRESENCE D'EAU DANS LE BATIMENT

Par rapport aux autres types de constructions, celles bâties en terre sont particulièrement sensibles aux actions de l'eau. Lorsque l'eau séjourne à proximité du bâtiment ou y pénètre, celui-ci devient inconfortable, voire malsain et risque de se dégrader rapidement.

Pour que l'eau agisse, trois conditions doivent être réunies :

- 1 - Présence de l'eau à la surface du bâtiment;
- 2 - Présence d'une ouverture dans cette surface qui permet à l'eau de s'introduire : fissure, fenêtre p.e.
- 3 - Action d'une force - pression, gravité, capillarité - qui fait pénétrer l'eau dans l'ouverture.

L'élimination de ces conditions favorisant l'action néfaste de l'eau garantit une situation saine et éloigne le risque d'une dégradation du bâtiment du fait d'une pathologie humide. Mais ceci n'est pas toujours aisé. Il est possible de réduire l'action de l'eau sur les murs en construisant de bonnes fondations et en élevant des soubassements, en protégeant le haut des murs, en supprimant les risques de condensation de surface. Il est aussi possible de colmater les fissures ou les voies de pénétration de l'eau à la surface des murs par un entretien régulier de la peau de la maison. Mais l'on ne doit surtout pas imperméabiliser la surface des murs de terre qui ont besoin avant tout de respirer, d'être perméables aux migrations de vapeur d'eau. On peut aussi agir sur les forces de pénétration de l'eau mais ces interventions sont parfois délicates (capillarité du matériau p.e.).

La meilleure stratégie et la plus efficace consiste à éloigner l'eau des parties sensibles du bâtiment, c'est à dire des murs de terre. On comprend alors le sens d'un dicton populaire : "Une maison en terre ne demande qu'un bon chapeau et de bonnes bottes". Bien construire en terre en évitant le risque de pathologie humide peut être résumé à cet habillage élémentaire des maisons. Que l'eau frappe la surface des murs (pluie p.e.) pour ensuite s'évaporer, cela n'est pas très grave. Mais que l'eau pénètre dans la masse des murs de terre, y stagne, cela est très grave.

PRECAUTIONS

La pathologie humide typique peut être évitée par une bonne démarche de conception et de réalisation du bâtiment en terre. Il s'agit en effet de "savoir bien construire en terre". On constate malheureusement que ce savoir bien construire a tendance à être éclipsé par une volonté de blinder le bâtiment, qui vise à accroître la résistance à l'eau de "la terre" (surprotection du matériau) et qui ignore la bonne démarche consistant à rendre le "bâtiment" résistant à l'eau.

Les actions les plus typées de l'eau sont résumées par le système de la goutte d'eau : impact, ruissellement, stagnation, absorption, infiltration, rejaillissement. L'humidité, qui est un second stade de l'action de l'eau, agit de façon plus malsaine : par perméabilité, par capillarité. Ces actions sont d'autant plus fortes que le matériau est d'une porosité élevée.

Les points les plus fragiles des constructions en terre et qui offrent le plus de faiblesses aux actions de l'eau et de l'humidité sont :

- la base des murs;
- le haut des murs.

Il existe également d'autres points faibles localisés tels que tableaux d'ouvertures, acrotères de terrasses, gargouilles, liaisons de matériaux différents : bois/terre p.e. Ce sont là les points qu'il conviendra de bien soigner et d'entretenir régulièrement.

MECANISMES, EFFETS

- 1 - Fondations : les remontées capillaires, à la base des murs, depuis les fondations, ont plusieurs origines : fluctuations saisonnières de la nappe phréatique, rétention d'eau par des racines d'arbustes, tuyauteries d'évacuation d'eaux vannes détériorées, absence de drainage du bâtiment, stagnation d'eau au pied des murs. Un état humide durable peut entraîner un affaiblissement de la base des murs : le matériau passe de l'état solide à l'état plastique et les murs ne supportent plus les charges : risque d'effondrement. L'humidité favorise le développement d'efflorescences salines - NaCl, CaSO₄, NaSO₄ - qui attaquent le matériau : creusement de cavités. Une faune d'insectes et de rongeurs attirés par l'humidité peuvent aggraver le minage du mur.

- 2 - Soubassements: au-dessus du terrain naturel, la base des murs peut être minée par : le rejaillement de gargouilles, la protection de flaques au passage de véhicules, le lavage des sols intérieurs, la condensation de surface (rosée matinale), un ruissellement au pied du mur (caniveau trop proche), une imperméabilisation de surface (trottoir, enduit étanche) qui empêche l'évaporation ou qui favorise un point de rosée entre le mur de terre et l'enduit imperméable, le développement d'une flore parasite (mousses) et d'efflorescences.

- 3 - Mur courant : l'eau s'infiltré par les fissures structurales (tassement différentiel, cisaillement p.e.) et les fissures de retrait dues aux cycles répétés de mouillage-séchage, par les trous de clés de banche non rebouchés, par les joints de mortier dégradés : capillarité, creusement du mur.

- 4 - A la liaison des tableaux d'ouvertures et des murs de terre, l'eau ruisselle (appui, linteau) et s'infiltré entre la maçonnerie du tableau ou le cadre en bois et la terre : dégradations localisées.

- 5 - La pluie et les variations de températures peuvent entraîner une décomposition du matériau : délavage des argiles qui réduit la cohésion de la terre.

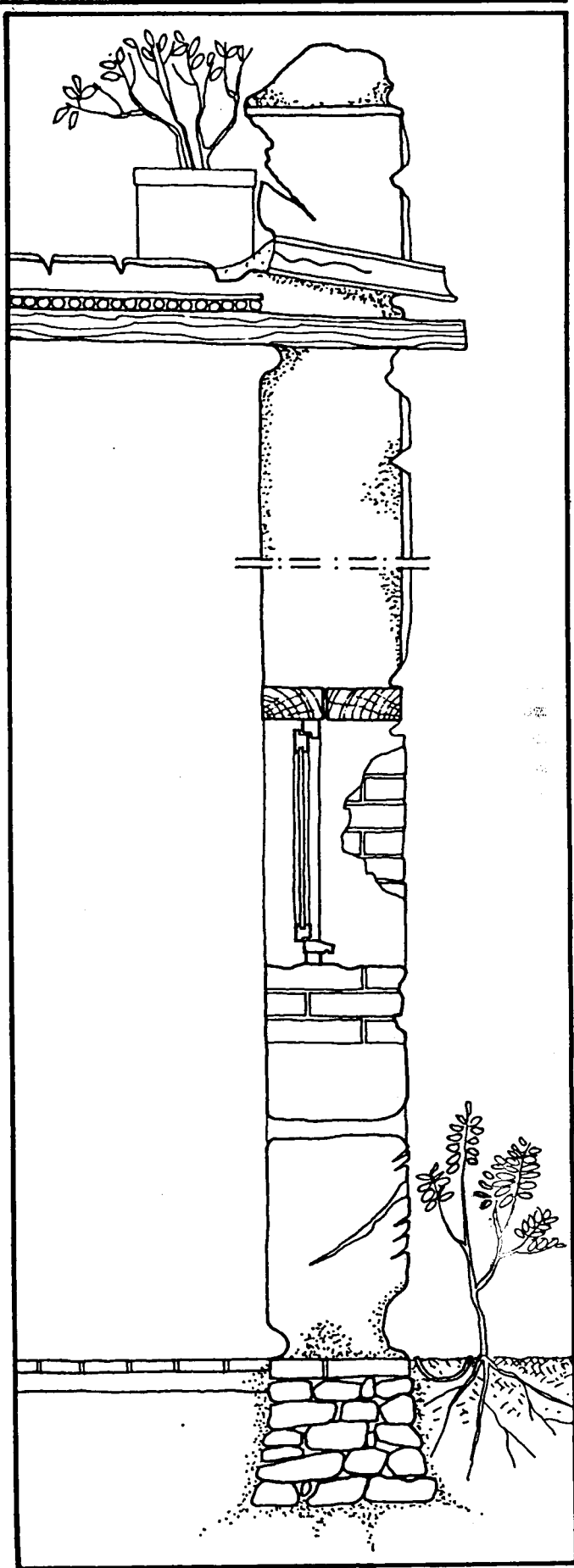
- 6 - Lorsque le mur de terre est revêtu d'un enduit étanche aux migrations de vapeur d'eau, la condensation en mur froid (été : mur intérieur, hiver : mur extérieur) ou un point de rosée entre le mur et l'enduit dégradent le mur.

- 7 - Le passage des poutres de plancher ou de toiture à travers les murs de terre peut occasionner des infiltrations localisées.

- 8 - Au passage des gargouilles mal conçues et non protégées à leur entrée et à leur sortie, l'eau ruisselle, s'infiltré. Les gargouilles peuvent être bouchées par une accumulation de terre: stagnation de l'eau, absorption, capillarité.

- 9 - Les acrotères non protégés par un chapeau débordant ou fissurés, revêtus d'un enduit dégradé, favorisent le ruissellement et l'infiltration de l'eau. Des objets posés contre les acrotères, des plantes que l'on arrose, un mauvais drainage des terrasses favorisent une rétention d'eau et d'humidité.

- 10 - Les terrasses fissurées et les revêtements dégradés favorisent l'infiltration.



PATHOLOGIE STRUCTURE

Comme toutes les constructions, celles bâties en terre peuvent être sujettes à une pathologie structurale à l'origine de dégradations parfois irréversibles. L'emploi de la terre en construction exige le respect vigilant de codes de bonne pratique du matériau et des systèmes constructifs. Mais, la pathologie structurale peut être aussi le fait de causes extérieures au matériau terre lui-même : problèmes de terrain - tassement, glissement p.e. - catastrophes naturelles - séismes, cyclones p.e. - qui peuvent très fortement solliciter les constructions, surtout lorsqu'elles sont mal conçues, mal exécutées et mal entretenues.

DESORDRES DE STRUCTURE TYPIQUES

Ils se manifestent de façon assez typique par une fissuration du bâtiment. Mais l'on connaît aussi des désordres de nature physico-chimique (décomposition du matériau) ou du fait d'agents extérieurs : actions d'êtres vivants p.e.

- **FISSURES STRUCTURALES** : elles concernent la structure du bâtiment et proviennent le plus souvent d'erreurs d'exécution, de modifications ultérieures du bâtiment ou de causes accidentelles. Le matériau est en dépassement de résistance à des contraintes mécaniques : forte compression, poinçonnement, traction, flexion, cisaillement. Ces contraintes sont soit localisées (liaisons terre/matériaux "durs", descentes de charges des planchers, ouvertures p.e.), soit exercées dans la masse des murs : tassement de sol, mauvaises fondations p.e.

- **FISSURES DE RETRAIT** : elles sont le plus souvent dues à des négligences de contrôle de la qualité du matériau terre employé (terre trop argileuse p.e.) ou lors de l'exécution (terre trop humide, séchage trop rapide p.e.). Les fissures de retrait sont caractéristiques, verticales et régulières (tous les 0,50 m à 1 m pour le pisé p.e.). Le retrait peut aussi provenir de fortes variations hygrothermiques : cycles répétés d'humidification/séchage.

- **FLAMBEMENT** : du fait de fortes contraintes mécaniques - élancement d'un mur non chaîné, charges localisées trop importantes - le mur peut se déformer (ventre extérieur p.e.). Ces déformations sont souvent accompagnées de fissurations, mais pas toujours car la terre a des caractéristiques de fluage très importantes.

- **EFFONDREMENT** : il peut être provoqué par des contraintes accumulées qui ont augmenté la fragilité de la construction, ou par une perte de résistance du matériau (pathologie humide permanente p.e.). Des contraintes occasionnelles ou accidentelles peuvent également intervenir : tassement ou effondrement de terrain, gonflement du sol, chocs de véhicules, séisme.

- **DECOMPOSITION DU MATERIAU** : sous l'action de l'eau, de l'humidité, de fortes chaleurs, du gel, le matériau peut évoluer dans sa structure chimique et minéralogique, perdre sa cohérence et se désagréger. La fixation de parasites organiques et de sels fait évoluer la structure du matériau.

PRINCIPALES CAUSES DE DESORDRES STRUCTURELS

- Sollicitation du matériau à l'encontre de ses caractéristiques : en traction ou en flexion p.e. La terre ne travaille bien qu'en compression. Les autres efforts nécessitent l'emploi d'autres matériaux : bois, béton, acier (chaînages, linteaux p.e.).

- Forte pathologie humide qui amoindrit la résistance du matériau, même en compression.

- Construction sur un mauvais terrain qui ne résiste pas aux charges transmises ou sur un terrain mouvant (glissement, tassement différentiel, gonflement).

- Mauvaise conception du bâtiment : fondations sous-dimensionnées, excentrées, murs non raidis, non chaînés, trop élancés, trop percés d'ouvertures, réalisés en matériau composites; surcharges de planchers, de toitures, d'occupation, poinçonnements localisés; systèmes constructifs inadaptés au matériau terre.

- Mauvaise mise en oeuvre : matériau de mauvaise qualité (mauvaise terre, mauvaises briques p.e.); systèmes constructifs mal exécutés (erreurs de calepinage, coups de sabre p.e.); mortier mal dosé; ouvertures mal dimensionnées, absence de chaînage; pas de protection basse et haute des murs p.e. (pathologie humide).

- Causes annexes : influences climatiques (action du vent sur un terrain de pathologie humide, arrachement de matériau p.e.). Action d'êtres vivants: parasites végétaux (mousses, lichens), rongeurs, insectes (termites).

PATHOLOGIE STRUCTURALE: ILLUSTRATIONS

- 1 - Fondations : il y a risque de pathologie structurale lorsque les constructions sont établies sur des terrains instables ou peu résistants (sols hétérogènes, sols rapportés, sols sujets au gonflement ou au tassement p.e.). Le risque est accru lorsque les fondations sont sous-dimensionnées, pas assez résistantes ou excentrées par rapport aux charges, mal construites (coup de sabre dans les fondations en pierre ou béton cyclopéen mal exécuté p.e.), mal drainées (humidité et affouillement). Les racines d'arbres trop proches, les travaux de jardinage au pied des murs, les insectes et les rongeurs (surtout quand les fondations sont en terre et déjà attaquées par une pa-

thologie humide) peuvent miner les fondations et augmenter la fragilité des murs au point de causer à terme, leur effondrement.

- 2 - Soubassement : au-dessus du terrain naturel, la base des murs est notamment exposée à l'action de l'eau. Sur un terrain de pathologie humide qui affaiblit la résistance des murs, qui peut diminuer la cohésion du matériau, le vent, les végétaux parasites, les dépôts de sels solubles, les rongeurs et insectes, peuvent aggraver le minage de la base des murs déjà entamée. Le soubassement est aussi exposé aux heurts accidentels de véhicules, de bestiaux, ou résultats de travaux périodiques (voirie, agriculture p.e.).

- 3 - Une mauvaise exécution des murs de terre peut considérablement affaiblir la structure du bâtiment; p.e., pour le pisé, l'absence de calepinage des banchées (joints superposés ou pas assez décalés) crée des fissures de coup de sabre. Les emplacements de clefs de banches, non rebouchés affaiblissent les murs, favorisent la nidation d'animaux et d'insectes qui attaquent le matériau. Une variation dans les terres employées, un compactage irrégulier, peut occasionner une variation de densité des couches compactées, un poinçonnement ou un laminage du matériau. Une teneur en eau trop inférieure à l'optimal peut réduire la cohésion du matériau; trop supérieure à l'optimal, les fissures de retrait prolifèrent.

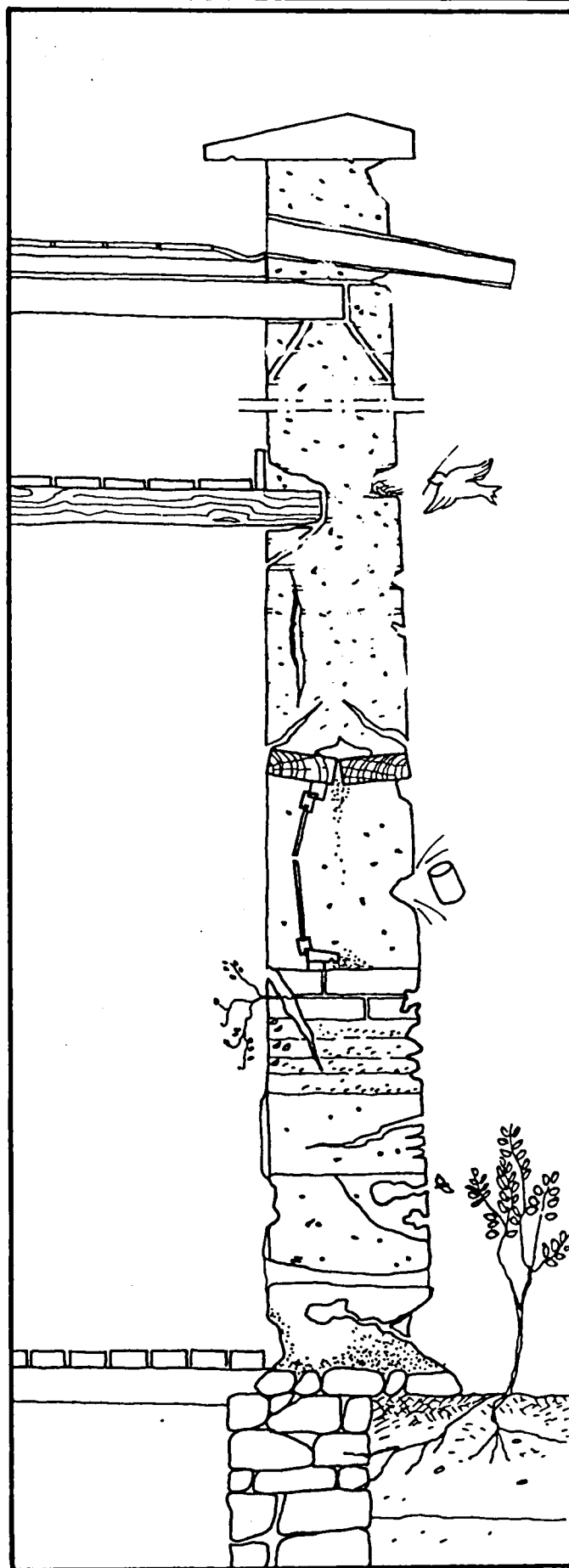
- 4 - Au droit des ouvertures, les descentes de charges peuvent cisailer les allèges (fissures verticales à l'aplomb des jambages). Les linteaux mal conçus peuvent fléchir et occasionner des fissures qui affaiblissent le mur.

- 5 - Des murs en briques mal appareillés ou construits avec des briques de qualité, de taille et de résistance différentes, bâties avec un mauvais mortier (faible adhérence brique/mortier p.e.), sont plus fragiles et peuvent fissurer.

- 6 - Un mauvais ancrage des poutres de plancher (pénétration insuffisante p.e.) ou l'absence de dispositif de répartition des charges localisées (planche en bois ou stabilisation p.e.) peuvent favoriser un poinçonnement, une fissuration ou une rupture du matériau.

- 7 - Les charges de toiture non reprises par un chaînage fissurent le mur.

- 8 - Un mauvais traitement des gargouilles et une protection déficiente de l'acrotère entraîne une pathologie structurale sur terrain humide.



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, J.A. et al. Architektur der Verganglichkeit. Lehmbauten der Dritten Welt. München, Die Neue Sammlung Staatliches Museum für angewandte Kunst, 1981.
- Adam, J.A. Wohn- und Siedlungsformen im Süden Marokkos. München, Georg D.W. Callwey, 1981.
- Bardou, P.; Arzoumanian, Y. Archi de terre. Marseille, Edition Parenthèses, 1978.
- Bardou, P.; Arzoumanian, Y. Architecturas de adobe. Barcelona, GG, 1979.
- Dethier, J. Des architectures de terre, ou l'avenir d'une tradition millénaire. Paris, CCI, 1981.
- Doat, P. et al. Construire en terre. Paris, éditions Alternatives et Parallèles, 1979.
- Easten, D. The rammed earth experience. Wilseyville, Blue Mountain press, 1982.
- Ebert, W.M. Home sweet dome. Frankfurt am Main, Dieter Fricke GmbH, 1981.
- Fitzmaurice, R. Manuel de constructions en béton de terre stabilisée. New-York, Nations Unies, 1958.
- Galdieri, E. Le meraviglie dell'architettura in terra cruda. Roma, Editori Laterza, 1982.
- Kahane, J. Local materials. A self builder's manual. London, Publication Distribution Co-operative, 1978.
- Kern, K. Rammed earth. Owner builder publications California, 1980.
- Kern, K. The owner built home. New York, Charles Scribner's Sons, 1975.
- McHenry, P.G. Adobe and rammed earth buildings. New York, John Wiley and Sons, 1984.
- Middleton, G.I. Build your house of earth. Victoria, Compendium Pty, 1979.
- Miller, L. and D. Manual for building a rammed earth wall. Greeley, REII, 1980.
- Miller, L. and D. Rammed earth, a selected world bibliography. Greeley, REII, 1982.
- Stulz, R. Appropriate building materials. St. Gallen, SKAT, 1981.
- Wolfskill, L.A. et al. Handbook for building homes of earth. Greeley, REII, 1983.