

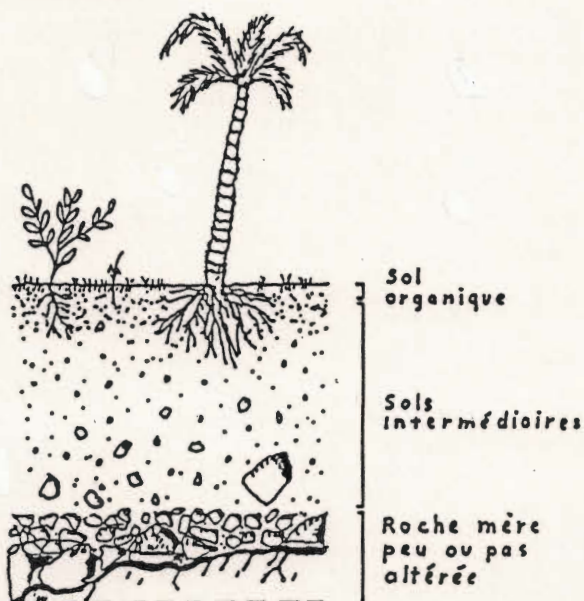
VOLUME 2

ANALYSE DU MATERIAU TERRE

	page
1) QU'EST-CE QUE LE MATERIAU TERRE?	1
2) DEROULEMENT DE L'ANALYSE DES SOLS	7
3) RESULTATS DES ANALYSES	15

1) QU'EST-CE QUE LA TERRE ?

1,1) Généralités



A l'origine de cette matière solide, il y a la roche mère, de nature et de dureté différente suivant le lieu (dure: granite, schiste, grés...; tendre: craie, marne...).

Au fil du temps, cette roche mère se transforme en différents sols meubles, d'épaisseurs variables.

Cette transformation est le résultat de trois actions simultanées:

- d'abord, l'action climatique et agricole. La roche mère se désagrège en minéraux de plus en plus fins (blocs de pierre, cailloux, sable, poussière...);
- ensuite, l'action de substances chimiques et organiques qui altèrent ces minéraux;

- enfin, l'action des éléments naturels qui les transportent. Transports horizontaux par l'eau, le vent, les glaciers, les glissements de terrain. Transports verticaux par les pluies qui font descendre certaines particules et l'évaporation qui en fait remonter d'autres en surface.

Ainsi, suivant le climat et la perméabilité de la terre, des couches vont se former, plus ou moins distinctes. On trouve, au plus bas, la roche mère intacte et, en surface, la couche organique de 5 à 35 cm d'épaisseur recouvrant les différentes couches de sols.

L'évolution permanente du matériau terre dépend principalement de la nature de la roche mère, du climat, du relief et de la végétation. C'est pourquoi, pour une meilleure utilisation de la terre, un regard sur l'environnement est toujours nécessaire avant de creuser le sous-sol.

1,2) Utilisation spécifique

Chaque utilisateur définit et exploite le matériau terre différemment. C'est ainsi que, par exemple, l'agriculteur, le géologue, le technicien des travaux publics et le maçon, utilisent la terre avec des outils et un langage différents.

Pour l'architecte, la terre est un matériau de construction doté de propriétés utiles au bâtiment. Voici quelques-unes de ces propriétés:

- la plasticité (ex. moulage de blocs, mortier);
- la résistance mécanique, la dureté (ex. mur porteur);
- la souplesse et l'étanchéité (ex. enduit).

1,3) Les principaux constituants d'un sol

Le sol est un mélange de gaz, de liquides et de solides, en évolution permanente malgré une apparence inerte.

1,31) Les gaz

Ils proviennent de l'atmosphère, de la respiration et de la décomposition des êtres vivants. Pour le constructeur, ces gaz (vapeur d'eau, gaz carbonique, oxygène, hydrogène, méthane...) sont importants par les vides qu'ils occupent. Cela diminue la densité de la terre et, donc, sa résistance. Et surtout, ces poches d'air peuvent servir de canaux au passage de l'eau.

1,32) Les liquides

Il s'agit principalement de l'eau et des éléments solubles contenus dans cette eau (acide, base, sels...).

1,33) Les solides

a) Constituants organiques et minéraux

Parmi les solides, on distingue:

- les constituants organiques, provenant des animaux et végétaux,
- et les constituants minéraux provenant de la désagrégation et de l'altération de la roche mère (c'est en général la plus grande partie d'un sol).

b) Minéraux inaltérés et minéraux altérés

* *Les minéraux inaltérés*

Ce sont les débris de la roche mère. Ils sont inertes. On les classe en fonction de leur diamètre de façon arbitraire.

C'est le squelette du sol:

- | | |
|-----------------|--------------------------------------|
| - les cailloux, | entre 200 mm et 20 mm; |
| - les graviers, | entre 20 mm et 2 mm; |
| - les sables, | entre 2 mm et 0,06 mm; |
| - les silts, | entre 0,06mm et 0,002mm (2 microns). |

* *Les minéraux altérés*

Ils sont identifiés par leur très petite taille (inférieure à 2 microns) et proviennent de l'altération de la roche mère. Ils sont très actifs.

Humides, ces fines particules forment une pâte collante. D'où leur nom de "colloïde". C'est le liant de la terre.

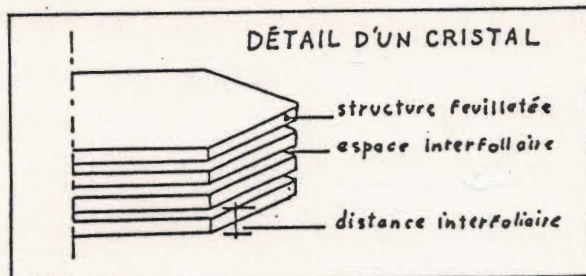
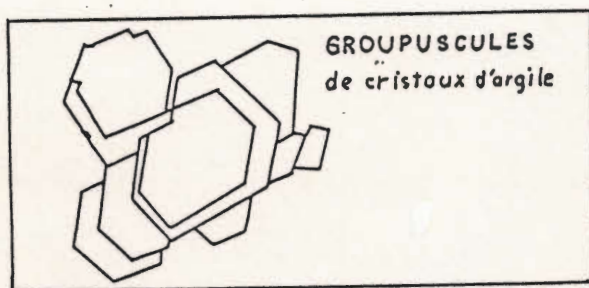
Les principaux colloïdes sont les argiles. C'est pourquoi on parle plus souvent d'argiles que de colloïdes.

Il existe des minéraux inaltérés inférieurs à 2 microns (quartz, oxyde de fer,...) qui ne sont pas actifs. Ce ne sont pas des colloïdes.

c) Les argiles

Les argiles proviennent de l'altération chimique des minéraux silicatés (feldspath, mica, amphibole, pyroxène...).

Ces grosses molécules d'argile se présentent souvent sous la forme de fins cristaux hexagonaux. Leur surface spécifique (surface développée des grains contenus dans l'unité de masse) est infiniment plus grande que celle des particules sphériques. D'où une plus grande surface de contact avec l'eau.



CRA terre

Le cristal d'argile est formé d'un empilement successif de feuillets et d'espaces interfoliaires. Il existe un grand nombre d'argiles dont chaque type dépend de la composition chimique des feuillets ainsi que du pouvoir absorbant des surfaces interfoliaires (propriétés pour capter et retenir l'eau). C'est à la variation de l'épaisseur de l'espace interfoliaire que l'on doit le gonflement et le retrait de l'argile, en fonction du taux d'humidité.

La physique et la chimie des argiles sont très complexes car les argiles engendrent et subissent d'innombrables phénomènes électriques. Les principaux résultats sont les forces de liaison qui créent une cohésion au sein d'une terre. L'argile maintient ensemble les grains inertes, elle joue le rôle du ciment.

Parmi les grandes familles d'argile, il existe trois types d'argiles très caractéristiques:

* La kaolinite

Épaisseur des cristaux: 0,005 à 2μ

Surface extérieure: 10 à 30 m^2/g

Liaison interfoliaire forte d'où une distance interfoliaire fixe: 7 Angstrum

Plutôt STABLE au contact de l'eau.

* *La montmorillonite*

Epaisseur des cristaux: 0,001 à 0,02 μ

Surface extérieure: 80 m²/g

Liaison interfoliaire faible d'où une distance interfoliaire variable: 14 à 20 Angstrum

Non stable au contact de l'eau: TRES GONFLANTE.

* *L'illite*

Ses caractéristiques et ses comportements se situent entre les deux grandes familles précédentes.

Peu stable au contact de l'eau: gonflante.

1,4) La structure d'un sol

Le mode d'assemblage des différents constituants d'un sol définit la structure. La répartition des différents solides crée des vides plus ou moins grands où l'eau peut circuler. Chaque assemblage engendre des différences dans les propriétés du sol telles que sa résistance, son étanchéité, sa plasticité.

Or, en général, dans la construction en terre, on casse la structure du sol par l'extraction, le malaxage, la stabilisation ou le maçonnerage.

Il est fondamental de toujours savoir ce que devient la structure; le comportement du sol en dépend.

Les deux propriétés physiques importantes pour la structure sont la surface spécifique et la capillarité.

1,41) La surface spécifique

Plus les particules sont petites, plus grande est leur surface spécifique. Autrement dit, il y a plus de surface dans un kilogramme de silt que dans un kilogramme de gros sable. Si on ajoute de l'eau pour que chaque grain soit enrobé, il faudra plus d'eau dans la terre silteuse que dans la terre sableuse.

De plus, la fine pellicule d'eau qui entoure la particule minérale retient par succion d'autres particules (ceci est dû à la présence de micro-poches d'air à la surface de la particule). Or, comme il y a plus de surface de contact dans le silt, les forces de succion sont plus grandes dans le silt que dans le sable.

1,42) La capillarité

Plus le diamètre des fissures et des vides dans la structure est petit, plus grande est l'absorption d'eau par capillarité.

Donc, un sol au squelette fin subit une invasion par l'eau plus profonde dans sa structure.

On distingue trois structures principales: la structure particulaire, la structure noyée et la structure continue.

a) Structure particulière

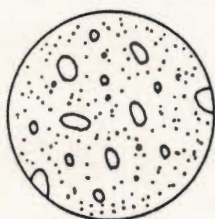


De type graveleuse. Tous les vides entre les graviers et les sables ne sont pas occupés par des silts ou des argiles. D'où une faible liaison par l'argile entre les éléments inertes.

Les grains sont résistants mais l'ensemble est friable.

"Le squelette manque de colle".

b) Structure noyée



Tous les éléments inertes sont noyés dans une masse d'argile. Les vides sont petits.

"Le squelette est noyé dans la colle".

c) Structure continue



De type béton bien gradué: tous les vides entre les constituants sont occupés par des grains plus petits jusqu'aux argiles. C'est la plus dense des structures.

"Le squelette est bien collé".

1,5) Caractéristiques fondamentales d'un sol

C'est l'ensemble de plusieurs caractéristiques d'un sol qui permet de comprendre son comportement et d'en déduire ses propriétés. Elles sont nombreuses, tant physiques que chimiques. Exemples: texture, cohésion, comportement à l'humidité, densité, perméabilité, échange ionique, pourcentage de sel, ...

Pour la construction en terre, on peut limiter l'étude aux trois premières caractéristiques précédemment citées. Ensemble, elles suffisent à identifier les propriétés utiles au bâtiment.

1,51) La texture

C'est la composition granulaire d'une terre. Souvent, la fraction dominante régit les propriétés fondamentales du matériau. Ainsi 45% d'argile suffisent pour obtenir une terre argileuse.

Connaître les quantités des différentes grosseurs de particules (gravier, sable, silt, argile) permet de savoir si le squelette est mélangé: s'il y a assez de petits éléments pour aller entre les gros éléments et s'il y a assez de particules collantes pour lier le tout.

1,52) La cohésion

La cohésion détermine la qualité collante des argiles.

1,53) Le comportement à l'humidité

a) En phase de construction, l'eau est indispensable pour utiliser la plasticité de la terre.

Ensuite, plus l'eau s'évapore, plus les forces augmentent jusqu'à l'obtention d'un matériau solide. (La technique de l'adobe utilise ce principe.)

Certaines terres bien hydratées peuvent se déformer sans se briser.

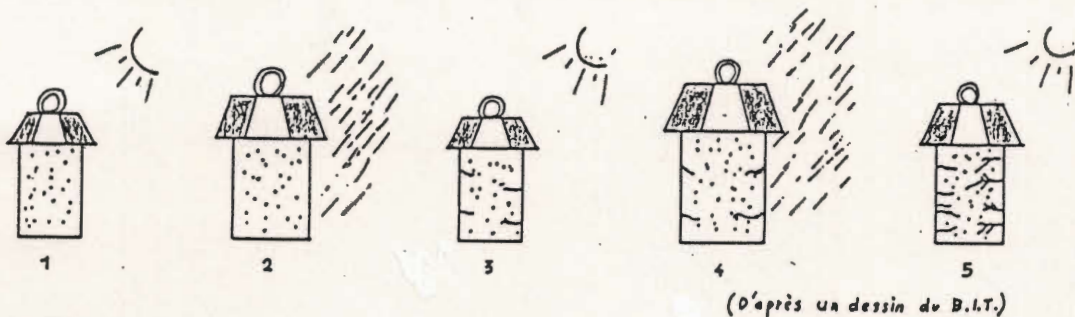
L'effet lubrifiant des films d'eau entre les particules dépend de la forme et de la taille de celles-ci.

b) Une fois le bâtiment fini, l'eau est un ennemi sérieux.

La résistance mécanique chute au fur et à mesure qu'augmente le taux d'humidité.

Les argiles sont instables sous l'action de l'eau: elles gonflent. Lors de l'évaporation, elles se rétractent en créant de nouvelles fissures. Au prochain contact humide, ces fissures laissent passer l'eau jusqu'au coeur du matériau.

Ce phénomène de "gonflement-retrait" est parfois lent, mais peut être extrêmement dangereux avec certains types d'argile.



1,6) Analyse du sol

1,61) Objectif

Il s'agit d'identifier les caractéristiques d'un sol à l'aide d'essais sur le terrain ou en laboratoire.

1,62) Les critères de sélection

Il existe de nombreux tests de sélection:

- les tests doivent être choisis en fonction de leur utilité pour un matériau de construction;
- la précision des résultats dépend de la bonne exécution des tests.

2) DEROULEMENT DE L'ANALYSE DES SOLS A IFEROUANE

2,1) Les 14 essais retenus pour Iférouane

Dans le contexte d'Iférouane, la sélection des essais doit tenir compte de trois impératifs: être adaptés à la construction en adobe, être réalisables selon un mode opératoire simple et demander un matériel rudimentaire (pour être accessible à tous).

Dans un premier temps, 14 essais sont choisis pour identifier le plus facilement possible les trois caractéristiques fondamentales: texture, cohésion, humidité. (Par la suite, seulement 8 seront retenus.)

L'ordre des essais tient compte, à la fois, de l'ordre chronologique de l'analyse et de l'utilisation d'un petit matériel de terrain, de plus en plus fourni.

N° 1 : La vue et le toucher



- L'aspect visuel peut donner une idée de la proportion et de la grosseur des particules les plus volumineuses et, par déduction, de celles des plus fines. Les particules les plus petites, visibles à l'oeil nu, sont les sables de 0,08 mm.

- La consistance au toucher doit permettre de mieux définir la texture.

* Méthode

Prendre un échantillon dont on retire les grosses particules ($\varnothing > 5\text{mm}$). Ecraser cet échantillon entre les doigts.

- . Facile à écraser, impression de rugosité: sol sableux.
- . Facile à réduire en fine poudre et, humide, il colle un peu: sol silteux.
- . Mottes très difficiles à écraser et, humide, il colle beaucoup: sol argileux.

* Matériel

1 pioche, 1 pelle, 1 récipient, 1 bidon d'eau, 1 marteau.

N°2: Couleur

Couleur d'une terre sèche. Elle indique la présence de certains composants chimiques.

Rouge à brun foncé: Oxyde de fer.

Jaune, ocre: Hydrate de carbone.

Pour les autres couleurs, les déductions sont plus hypothétiques.

Le test de la couleur est intéressant s'il existe une relation avec la texture.

N°3: Odeur

Permet de détecter la présence de matière organique.

* *Méthode*

Si le sol a une odeur de moisi, il s'agit probablement d'un sol organique. L'odeur est amplifiée si l'on humidifie ou chauffe la terre.

N°4: Morsure

Aide à définir la texture.

* *Méthode*

Placer une pincée de terre entre les dents et l'écraser légèrement.

. Si elle crisse désagréablement: sol sableux.

. Si elle crisse avec une sensation farineuse: sol silteux.

. Si elle donne une sensation lisse et colle fortement à la langue: sol argileux.

N°5: Lavage des mains



Aide à reconnaître les silts des argiles.

* *Méthode*

Si on a une impression savonneuse et il est difficile de se rincer les mains: sol argileux.

Si on peut se rincer les mains facilement: sol silteux.

N°6: Examen de l'éclat

Aide à reconnaître les silts des argiles.

* *Méthode*

Prendre une boulette de terre légèrement humide; la couper en deux avec un couteau.

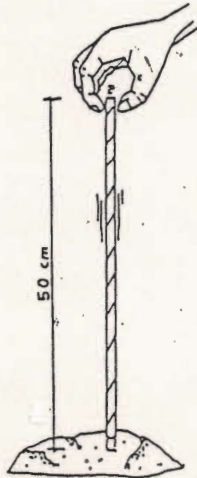
. Si la surface de l'entaille est plutôt terne: sol silteux.

. Si la surface de l'entaille est brillante: sol argileux.

N°7: Teneur en Eau de Moulage (TEM)

(Inspiré de l'essai de consistance des pâtes de ciment - Aiguille de vicat)

Permet d'obtenir toujours la même consistance, quel que soit le sol. Seule la quantité d'eau change.

* *Méthode*

Après avoir enlevé les gros graviers (> 5mm), humidifier l'échantillon afin d'obtenir un état plastique tel qu'une tige de fer à béton Ø 10 de 50 cm de long, sectionnée droit et posée verticalement sur l'échantillon, descende de son propre poids, d'une profondeur de 2 cm.

Cette consistance correspond à l'état d'humidité très plastique nécessaire pour mouler les grands blocs d'adobe (d'où le nom de TEM).

Cette "limite de liquidité" est prise comme référence pour tous les autres essais nécessitant une phase d'humidification de l'échantillon.

Cette consistance est très bien connue de la population, habituée à mouler des blocs.

Pour mesurer la T.E.M.:

- . peser une fraction de l'échantillon humide (P_h);
- . faire complètement sécher la pesée (au four à 105°C ou sur un réchaud);
- . peser la fraction de l'échantillon sec (P_s):

$$T.E.M. = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} \times 100 \text{ (en \%)}$$

* *Matériel*

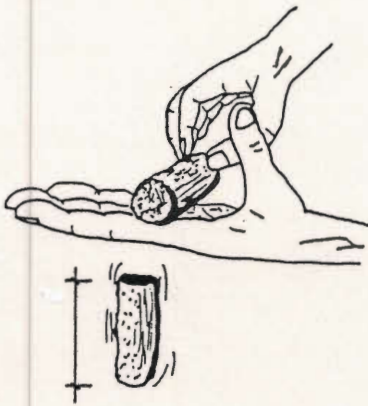
Comme au N°1, plus 1 balance de précision, 1 réchaud, 1 fer à béton de 10 et de 50 cm de long.

N°8: Test du cigare

Indique si la terre contient ce qu'il faut en argile pour confectionner des blocs (ni trop ni trop peu).

* *Méthode*

Retirer les graviers (> 5mm) de l'échantillon. Bien le concasser. Humidifier la terre à la Teneur en Eau de Moulage. Bien malaxer l'échantillon pour que l'argile agisse partout.



Prendre une motte de l'échantillon humide de la grosseur d'une mandarine.

La rouler entre les deux mains afin d'obtenir un cylindre de 2 à 3 cm de diamètre et le plus long possible.

Poser ce "cigare de terre" en travers de la paume de la main horizontale.

Pousser lentement, avec l'autre main, le cigare dans le vide.

Visualiser la longueur du morceau qui tombe.

Recommencer plusieurs fois avant de se prononcer.

. Il se casse avant 5 cm: trop de sable.

. Il se casse après 15 cm: trop d'argile.

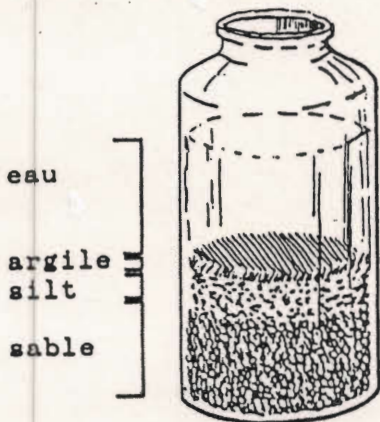
. Il se casse entre 5 et 15 cm: bonne terre mélangée,

sauf si les précédents essais ont montré que la terre est silteuse car, dans ce cas, la cohésion qui crée une longueur de rupture entre 5 et 15 cm n'est pas due à l'argile mais aux films d'eau (et une terre silteuse n'est pas très bonne pour mouler des blocs).

N°9: Sédimentation

Permet de visualiser la proportion de chaque constituant d'un sol.

* Méthode



Dans un bocal de 75 cl aux parois transparentes et verticales, introduire 350 g d'échantillon et 600 ml d'eau.

Fermer le bocal et le secouer énergiquement.

Au bout d'une heure, agiter de nouveau et laisser reposer sur une surface horizontale.

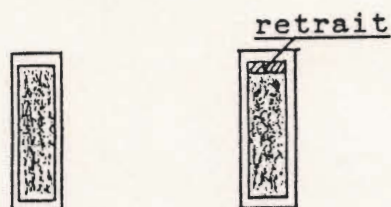
Au bout de plusieurs heures, l'eau est redevenue claire.

On peut mesurer, à travers la paroi, la hauteur de chaque couche sédimentée:

- le sable au fond,
- le silt au milieu et,
- au dessus, la couche d'argile.

N°10: Retrait

Permet d'apprécier la quantité d'argile sensible à l'eau.



moule
rempli

après
séchage

* *Méthode*

Lubrifier deux moules de retrait (10x10x2) et les remplir avec l'échantillon humidifié à la Teneur en Eau de Moulage. Lisser.

Après séchage complet, on peut mesurer la contraction linéaire et calculer le pourcentage de retrait.

* *Matériel*

Deux moules confectionnés dans du profilé métallique en \varnothing de 20 mm, 1 spatule.

N°11: Fissuration

Examen complémentaire à l'essai de retrait.

Le type de fissuration qui peut survenir dans le moule de retrait après séchage permet d'apprécier mieux la quantité d'argile sensible à l'eau.

N°12: Dureté

Permet de déterminer la teneur en argile du sol.

* *Méthode*

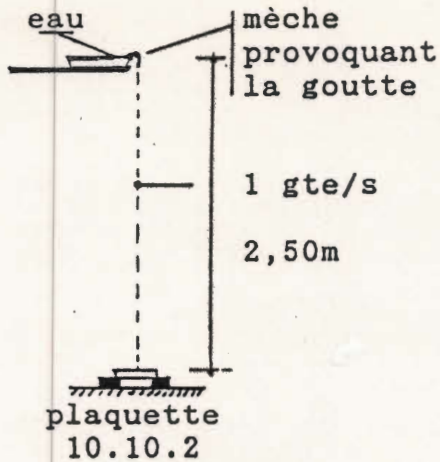
Mouler deux pastilles de terre d'environ 12 mm d'épaisseur et de 30 mm de diamètre avec l'échantillon de terre humidifié à la T.E.M. Laisser entièrement sécher. Puis essayer de les réduire en poudre entre le pouce et l'index.

- . Se casse très difficilement, impossible de réduire en poudre: sol argileux.
- . Résistance moyenne, possible de réduire en poudre: sol silteux.
- . Faible résistance à sec: sol sableux.

N°13: Perméabilité

Permet d'observer trois comportements d'une plaquette de sol soumise à l'agression de l'eau :

- . Comportement aux chocs humides
- . Comportement à l'absorption
- . Comportement au séchage (fissure ?)



* Méthode

A l'aide du moule 10x10x2, réaliser une plaquette avec l'échantillon de sol humidifié à la T.E.M. Une fois bien sèche, placer cette plaquette sur deux appuis au sol et faire tomber sur sa surface une goutte d'eau d'une hauteur de 2,50 m à raison de 1 goutte/seconde.

Condition indispensable: pas de courant d'air!

* Matériel

1 large plateau étanche, 1 moule en bois 10x10x2.

N°14: Cohésion

Cet essai, que l'on appelle aussi "essai du 8" (à cause de la forme de l'échantillon testé), permet d'obtenir la résistance à la traction humide de la fraction "mortier" d'un sol (constituants < 2 mm).



* Méthode

L'échantillon est tamisé à 2 mm. Il a été humidifié la veille pour que toutes les plaquettes d'argile puissent réagir.

Suivant un mode opératoire très précis, (voir en annexe IV), l'échantillon humidifié à une Teneur en Eau normalisée, et compacté dans un moule en 8 normalisé, est soumis à une traction croissante jusqu'à rupture.

* Matériel

2 moules spéciaux en bois, 1 balance, des récipients, 1 marteau à bout plat de 2,5 x 2,5 cm.

2,2) Installation du laboratoire

Bien que tous les essais puissent se dérouler sur le terrain, car ils n'exigent qu'un petit matériel portable, le Projet dispose d'une salle pouvant servir de laboratoire.

2,21) Matériel nécessaire

La liste du matériel nécessaire se trouve en Annexe II.

2,22) Avantages

- . Stockage rigoureux des échantillons de sol et du matériel.
- . Grande table de travail qui augmente la précision (exemple: essai de sédimentation) et améliore la position de travail.
- . Ombre et fraîcheur: conditions d'évaporation plus constantes (séchage) et conditions de travail plus confortable.
- . Maîtrise des courants d'air, indispensable pour l'essai de perméabilité.
- . Possibilité d'effectuer des essais plus sophistiqués: granulométrie par tamisage, sédimentométrie par syphonage.
- . Possibilité d'afficher et d'exposer les résultats pour expliquer le matériau terre aux visiteurs.

2,3) Objectif de l'analyse

On va vérifier l'efficacité des 14 essais pour n'en retenir que les plus importants et établir ainsi une gamme plus simple.

Pour ce faire, on étudie les essais un par un sur une vingtaine de sols différents en faisant varier, à chaque fois, un paramètre du mode opératoire:

- . différents échantillons d'un même sol;
- . différents opérateurs;
- . différents taux d'humidité.

La répétition d'un même essai est indispensable pour réellement connaître ses limites et ce qu'il traduit seul, ou en rapport avec les autres essais.

L'application de ces essais doit donner des résultats vérifiables dans la pratique de la construction.

Ainsi, les blocs utilisés pour la construction des bâtiments du PCGRNAT étant excellents, l'analyse doit démontrer la qualité de ce sol.

2,4) Choix de 15 sols pour l'analyse

8 sols proviennent de 8 sites d'Iférouane

(Voir plan en Annexe I.)

Ces sites sont tous exploités ou l'ont été pour la construction en terre et surtout pour des bâtiments en voûtes et coupes.

7 sols proviennent de 5 villes nigériennes

(Voir plan en Annexe I.)

Ces villes sont Oualam et Dosso pour le sud, Agadez, Azel et Tintelloust pour le nord.

Les 7 sols ont aussi été utilisés, dans le passé, pour la construction de voûtes et coupes.

2,5) Collaboration des maçons et briquetiers sahéliens

La sélection de tests appropriés n'est valable que s'il se fait avec la participation de la population locale intéressée par la construction en terre.

2,51) Les maçons concernés

Il s'agit:

- . des maçons d'Iférouane (dont ceux qui travaillent pour le PCGRNAT),
- . des briquetiers qui produisent les blocs d'adobe,
- . de 12 stagiaires (maçons expérimentés dans la construction en adobe, venus de différentes régions ou pays sahéliens pour suivre un stage de formation aux techniques des voûtes et coupes).

2,52) Comment ils sélectionnent les sols

Les 15 sols sont présentés aux différents intervenants. On leur demande de déterminer, avec leurs méthodes traditionnelles, ceux qui sont utilisables dans le bâtiment.

- . Ils analysent à la vue et au toucher, mais sans eau.
- . Ils essaient de comparer avec un sol qu'ils connaissent.
- . Ils sont très surpris de la variété des sols.
- . Ils donnent des réponses contradictoires.
- . Certains, habitués à malaxer avec les pieds la boue pour la production d'adobe ou pour le mortier, reconnaissent très bien la bonne terre à la façon dont l'argile leur serre les chevilles en séchant.

En fait, pour la plupart, le stade d'identification d'une terre ne se pose pas: ils connaissent la terre de leur localité et où aller pour une terre qui convient à la construction. En général, cependant, ils ne sont pas capables de prédire comment la terre va se comporter dans une localité qui ne leur est pas familière, surtout si cette localité n'a aucune tradition de construction en terre.

2,53) Leurs appréciations sur les 14 essais

L'essai N°1, "La vue et le toucher", qui détermine si la terre a suffisamment de gros sables pour donner la solidité aux blocs, paraît acceptable aux maçons locaux qui se méfient des sols fins.

Ils sont très intéressés par le "test du cigare". Ils comprennent très bien la limite inférieure à 5 cm (friable car trop de sable). Mais ils ne comprennent pas la limite supérieure à 15 cm. (Ils savent que, s'il y a trop d'argile, le bloc va se fissurer au séchage, mais ils ignorent le problème de gonflement-retrait des argiles).

Du fait de cette ignorance, ils s'intéressent à l'éclatement dans la masse d'une plaquette de sol argileux soumise plusieurs fois à l'essai de perméabilité.

2,54) Bilan de cette collaboration

La vision de la structure continue "squelette + colle" est très bien ancrée dans les esprits (en haoussa, il existe même un mot spécial pour désigner "la terre qui colle").

Mais l'instabilité de cette "terre qui colle" n'est pas très bien perçue.

Donc, les problèmes de "gonflement/retrait", en fonction du taux d'humidité, doivent être bien mis en évidence, par des essais simples, si on veut leur éviter de sélectionner des terres dangereuses (type montmorillonite).

3) RESULTATS DES ANALYSES

3,1) Transformation de la gamme des 14 essais

Après comparaison des résultats de tous les tests, il a été possible de modifier la gamme des essais dans un souci de simplification et d'efficacité.

3,11) Suppression de certains essais

Les essais de moindre efficacité ou inutiles dans le programme de construction en adobe à Iférouane ont été supprimés.

N°2: Couleur

Si, pour Iférouane, la couleur peut être associée à une famille de constituants (beige clair/silt, rose/argile), sorti de la zone cela ne correspond plus.

Seule la valeur chimique reste. Mais il n'est pas indispensable de la connaître (savoir que le rouge vient de l'oxyde de fer n'est pas une préoccupation majeure).

N°3: Odeur

La trace de faible quantité de matière organique ne change rien à la décision.

Il n'y a pas de stabilisation au ciment prévue dans le programme de construction et les éventuelles efflorescences de sel sont sans risque.

N°4: Morsure

Cet essai n'est pas hygiénique: les trous sont souvent très vite des wc publics.

N°6: Examen d'un éclat

Cet examen est trop subtil. Le "lavage des mains" suffit pour déterminer la différence entre un sol silteux et un sol argileux.

N°9: Sédimentation

Les couches des différents constituants ne sont pas toujours très distinctes.

Cet essai offre un simple aspect visuel de la texture, intéressant à exposer dans un laboratoire, mais inutile sur le terrain.

N°11: Fissuration

La taille réduite du moule de retrait rend le phénomène rare. Mais même dans un moule plus grand l'interprétation exige beaucoup d'expérience.

N°14: Cohésion

Le mode opératoire est trop complexe. Le test du cigare suffit pour avoir une appréciation du sol.

3,12) Modification de 2 essais

N°1: La vue et le toucher

On sépare l'aspect visuel de la consistance car, à lui seul, il donne beaucoup d'informations sur tout le site avant de passer au stade de l'échantillon. La consistance est divisée en deux rubriques "Toucher sec" et "Toucher humide" qui sont essentielles pour préciser la cohésion et la texture.

N°12: Dureté

Cet essai sera associé à l'essai de retrait: on essaiera d'écraser la barrette de retrait.

3,13) Réorganisation de la gamme d'essais

a) Analyse en trois phases

** 1ère phase: sur le site et sur l'ensemble du sol*

N°1: La vue et le toucher

Matériel: 1 pelle, 1 pioche.

** 2ème phase: sur le site et sur échantillon*

N°2: Consistance - toucher sec

N°3: Consistance - toucher humide

N°4: Lavage des mains

N°5: Test du cigare

Matériel: 1 plat en fer, 1 marteau, 1 bidon de 4 l, 1 fer L = 50cm Ø = 10

** 3ème phase: au laboratoire, un échantillon.*

N°6: T.E.M.

N°7: Retrait

N°8: Perméabilité

Matériel: 1 balance à 0,1 g, 1 réchaud, 2 moules 10x2x2, 1 moule 10x10x2, 1 large plat.

b) L'analyse en laboratoire

L'analyse en laboratoire travaille déjà sur la structure: celle engendrée par l'échantillon de sol écrasé, malaxé, humidifié à la T.E.M., moulé puis séché.

Suivant les réactions au retrait, à la dureté et à la perméabilité, on peut déterminer de quel type de structure il s'agit: particulaire, noyée, continue.

A ce moment, grâce aux précédents essais, il est facile de déterminer les différentes propriétés du sol et de voir celles qui sont utiles au bâtiment.

Enfin, pour permettre la communication des résultats, il est nécessaire de les traduire suivant la classification géotechnique:

<i>Propriété de la structure</i>	<i>Classification</i>
Très peu de retrait, friable	Sol sableux ou graveleux
Peu de retrait, très absorbant, cassant	Sol silteux
Beaucoup de retrait, absorbant, très résistant à sec, fissure au séchage	Sol argileux
Très peu de retrait, résistant à sec, résistant à l'eau	Sol mélangé (texture bien graduée)

c) L'échantillon

** Où le prélever ?*

On peut le prélever directement sur des talus naturels où les différentes couches sont bien visibles.

On peut aussi le prélever dans un trou.

Alors, on creuse un trou de 1 m de côté jusqu'à 2 m de profondeur, mais on ne prend pas d'échantillon dans la terre retirée. On les préleve dans l'une des parois du trou, en creusant horizontalement. On prend autant d'échantillons qu'il y a de couches différentes, mais sans essayer de faire une "moyenne".

Une fois que toutes les couches seront identifiées, on pourra procéder au mélange.

** Combien en transporter au local ?*

2 kg suffisent pour effectuer la troisième phase de l'analyse.

Mais, suivant le matériel disponible sur le terrain, on peut utiliser la terre humidifiée à la bonne consistance, utile à l'essai du cigare pour remplir les moules

des essais de retrait et de perméabilité. Et, avec le reste de terre, calculer, grâce au réchaud, la valeur de la T.E.M.

Ceci réduit à 1 kg la quantité d'échantillon à emporter au laboratoire.

** Comment transporter les échantillons ?*

Placer les échantillons séparément dans des sacs étanches. Etiqueter dedans et dehors.

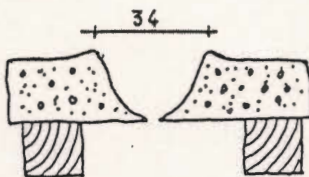
Pour obtenir la bonne quantité d'échantillon, le partager de la manière suivante: l'étaler sur une surface propre, le diviser en 4 d'une croix, rejeter les 2 parties opposées, regrouper le reste de terre et recommencer jusqu'à obtenir la bonne quantité.

d) La fiche d'analyse

Pour faciliter la prise de notes et regrouper les résultats, une fiche "Analyse du sol" a été utilisée. En annexe III, on peut trouver les résultats de 4 sols types d'Iferouane, accompagnés de leur courbe granulométrique.

3,2) L'essai de perméabilité

Suivant les caractéristiques d'un sol (cohésion, texture,...), son comportement change au contact de l'eau. Cet essai permet d'observer les comportements du sol et, donc, d'en déduire ses caractéristiques. Par souci d'uniformité, on utilise toujours le même type de ficelle pour amorcer les gouttes. Les observations doivent être rigoureuses et notées sur un document comme celui-ci:

Sol N° 5	Stabilisation: non	Lieu: IFEROUANE / aviation
ESSAI DE PERMEABILITE		Date de prél.: 10/11/88
Heure	Durée = 56mn	Ø = 35 mm
		Date d'essai : 04/12/88
8h00	Début de l'essai	
8h01	1er trace de l'impact, Ø = 25 mm	
8h15	Ø = 30 mm, profondeur = 4 mm. Endroits secs en surface	
8h30	Ø = 32 mm, profondeur = 9 mm. Toute la surface est mouillée.	
8h36	1 gravier de 4mm, au fond du cratère, amortit les gouttes.	
8h45	Ø = 33 mm, profondeur = 10 mm. Quelques taches sèches sur les côtés.	
9h00	Ø = 34 mm, profondeur = 18 mm. Tout est mouillé.	
9h06	Perforation et FIN:	
		
8h00	Après séchage: (le lendemain) aucune fissure.	

L'observation répétée sur les 15 sols a permis de déduire que l'eau pénètre la plaquette de deux manières simultanées:

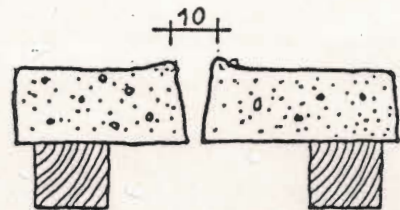
- . pénétration agressive par le choc des gouttes en un point,
- . pénétration douce par absorption du sol.

En fonction de la cohésion et de la texture du sol, l'une des deux manières prédomine.

3,21) Cas d'un sol sableux

C'est un sol peu cohésif; les grains ne sont pas bien collés les uns aux autres. Sous le choc de la goutte, ils se détachent, se font expulser de la zone d'impact. C'est le début rapide d'une perforation étroite. Bien sûr le sol absorbe de l'eau, la cohésion chute, ce qui accélère la perforation.

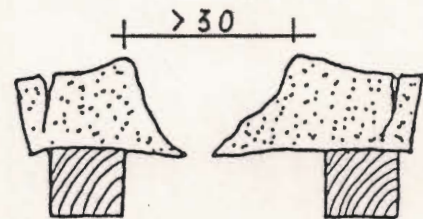
- Durée < 20 mn
- Ø final < 10 mm
- Plaquette non déformée
- Reste des zones sèches
- Pas de fissure de retrait



3,22) Cas d'un sol argileux

La surface très dure de la plaquette ne permet pas aux chocs des gouttes de creuser. Mais l'eau stagne en surface où les microfissures attirent l'eau par capillarité. L'argile en contact avec l'eau gonfle et relâche ses liens avec les grains inertes: autour de la zone d'impact, la cohésion chute. Une fois la terre ramollie, la goutte creuse un large trou.

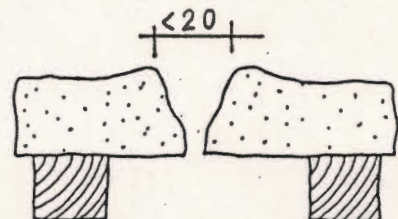
- Durée > 40 mn
- Ø final > 30 mm
- Plaquette très déformée
- Très imbibée
- Fissures de retrait



3,23) Cas d'un sol silteux

Par la petitesse de ses vides, ce sol est très absorbant. Il s'imbibe rapidement et subit une perforation étroite.

- Durée < 20 mn
- Ø final < 20 mm
- Plaquette non déformée
- Aucune zone sèche
- Eventuelles petites fissures autour de l'impact

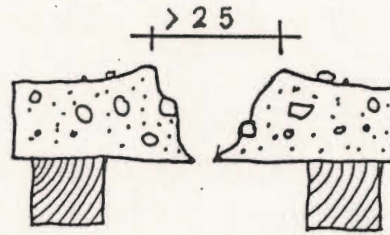


3,24) Cas d'un sol mélangé

C'est le sol le plus résistant à l'essai.

La bonne texture et cohésion engendrent une structure continue et dense (peu de vides). De ce fait, l'absorption est plus lente qu'ailleurs et la résistance plus efficace contre la perforation.

- Durée > 60 mn
- Ø final > 25 mm
- Les gros sables gênent l'impact des gouttes au risque de faire effondrer la plaquette sous le poids de l'absorption
- Aucune zone sèche
- Pas de fissure de retrait



3,25) Conclusion

* Suivant la durée de perforation, le diamètre du cratère, la présence éventuelle de fissures après séchage, on peut déterminer la classe du sol et en déduire ses propriétés.

* Si le sol argileux a une nette supériorité de résistance à sec, il n'est pas le plus imperméable à l'eau. De plus, au séchage apparaissent des fissures de retrait qui ne font que diminuer ses qualités.

* Le sol mélangé reste le plus performant.

* Suite à deux essais simultanés, l'un sur le sol argileux de Oualam (durée: 1h30, totalement fissuré) et l'autre sur le même sol mais issu d'un bloc stabilisé à la balle de mil (durée: 10h30, non fissuré), l'essai de perméabilité a trouvé son rôle: participer à la recherche des enduits de terre stabilisée.

3,3) Relations entre les différents essais

Pour comparer les résultats des essais du "cigare, retrait, perméabilité" de deux sols, il faut être sûr que les essais ont bien été préparés à la même consistance humide: celle déterminée par la descente à 2 cm de profondeur d'une tige de fer de 50 cm de long et de Ø 10. Car, si cette consistance, appelée Teneur en Eau de Moulage (T.E.M.) varie, alors, les résultats des autres essais changent.

Exemple de cette variation sur deux sols:

* S5 : Sol mélangé:

Profondeur	(cm)	0,4	2	12
Teneur en eau	(%)	18,8	19,5	20,7
Cigare	(cm)	6	9	5
Retrait	(%)	1	2	1,8

* S7 : Sol argileux:

Profondeur	(cm)	0	2	20
Teneur en eau	(%)	19	23	31
Cigare	(cm)	20	28	impossible
Retrait	(%)	5	6	8

C'est pourquoi, pour nous, tous les résultats sont donnés à la même "limite de liquidité": la T.E.M., facile à déterminer et bien connue des briquetiers.

On peut donc comparer les résultats obtenus pour 15 sols.

On s'aperçoit qu'il existe des relations interdépendantes d'essai à essai.

La limite de liquidité étant la référence, les sols sont classés suivant leur T.E.M. croissant de gauche à droite dans le tableau suivant:

Tableau de valeurs:

Sol	S5	URC r	S1	URC b	S6	S4	S6 e	S3	HL	V	S2	S7	DS	TLS	UA	
TEM	18	19	21	21	23	23	23	24	25	25	27	33	34	37	40	
Ret.	1,5	2	1,3	4	1	4,5	3	3	3	6	9	7	6	13	8	
Cig.	8	12	4	20	10	20	12	8	15	25	20	30	18	26	26	
Per. duré mn	60	60	20	70	10	130	45	20	21	40	50	60	64	34	90	
ØFin mm F	35	30	10	40	6	40	25	15	30	30	35	40	10	32		
										f	f	f	f	f	f	
Clas	Mélangé	Sb	Silteux						Argileux							
			G	Sb	G	A										Sl

Abréviations:

- De S1 à S7: Les 7 sols d'Iférouane.
- HL : Site choisi pour un projet d'hôtel.
- URC: Terre d' Agadez, r = rose, b = blanche.
- S6e: Sol n°6 pour un enduit.
- TLS: Tintelloust.
- DS : Dosso.
- UA : Ouallam.
- V: Mortier de voûte.
- G : Graveleux.
- Sb : Sableux.
- Sl : Silteux.
- A : Argileux.

3,31) Observations

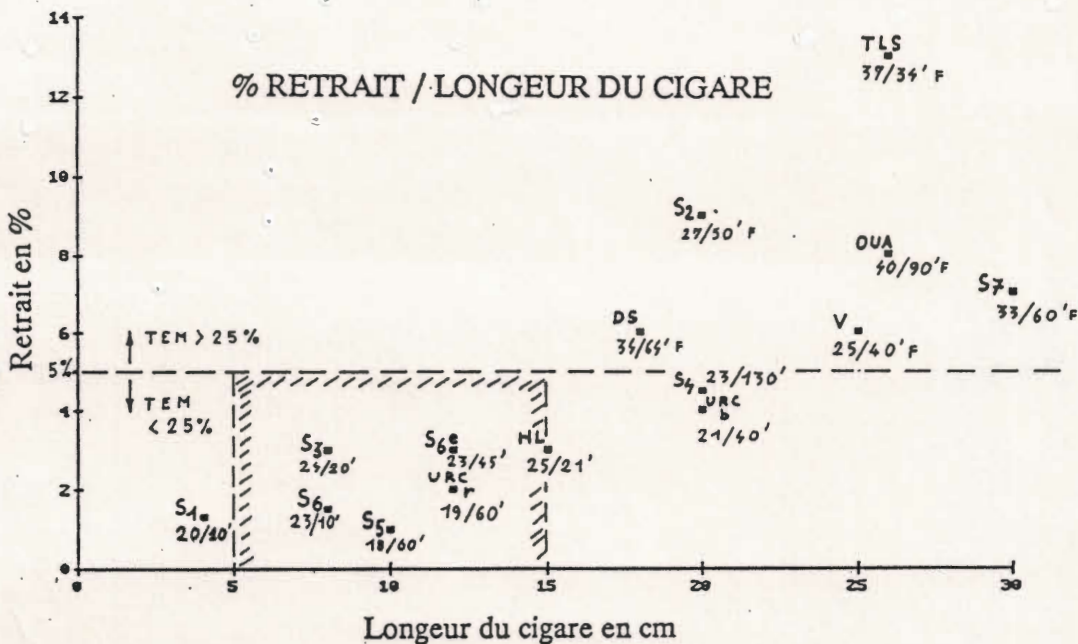
Les valeurs des T.E.M. sont croissantes de 18 à 40 %, c'est pourquoi:

- le pourcentage de retrait va, lui aussi, à quelques valeurs près, croissant de gauche à droite de 1 à 13 %;
- la longueur du cigare va, elle aussi, à quelques valeurs près, croissant de gauche à droite de 4 à 30 cm;
- les "f" de fissuration à l'essai de perméabilité se trouvent tous à droite.

En généralisant aux classes géotechniques des sols, on obtient le tableau suivant:

Essais / Sol	MELANGE	SABLEUX	SILTEUX	ARGILEUX
T.E.M.	+/- 18	+/- 20	+/- 23	> 25
RETRAIT	+/- 2	+/- 1	+/- 4	> 5
CIGARE	5 < > 15	< 5	> 6	> 15
PERMEABILITE				
durée (mn)	> 60	< 20	< 20	> 40
Ø (mm)	> 25	< 10	< 20	> 30
fissure	non	non	possible	oui

Théoriquement, deux essais pourraient suffire à classer un sol. Mais la classification géotechnique est une abstraction. Dans la réalité, tous les mélanges sont permis. Aussi pour mieux comprendre ces mélanges, mieux vaut avoir quatre paramètres. Sur le tableau, il est clair qu'il existe des limites: la valeur de retrait "5%" met en garde contre l'usage d'un sol dont le retrait serait supérieur (risque de fissure). Les autres limites sont plus explicites sur le graphe ci-dessous:



A côté de chaque point est précisé:

- . le % d'eau à la T.E.M.,
- . la durée à l'essai de perméabilité en mn ('),
- . et, en cas de fissuration, "F".

La place des points, ainsi que la valeur de chaque T.E.M., prennent la même direction croissante. Les trois essais (T.E.M., retrait, cigare) sont bien liés par une relation croissante.

Pour comprendre ces relations, il faut étudier la "structure" du sol (compromis entre les solides, l'eau et l'air).

Très schématiquement, on peut dire que:

- si le "cigare" augmente, c'est que la cohésion augmente;
- si la cohésion augmente, c'est que le pourcentage d'argile augmente;
- si le pourcentage d'argile augmente, la surface spécifique augmente, d'où un besoin plus important en eau pour une même consistance humide;
- s'il y a plus d'eau, la valeur de la T.E.M. et du retrait augmente;
- si le pourcentage d'argile augmente, la pénétration à l'essai de perméabilité se fait plus par absorption que par perforation et le risque de fissure de retrait augmente.

Pour le bâtiment, on cherche en général, un sol qui puisse engendrer une structure continue aussi dense et aussi stable que possible.

C'est ainsi que, sur le graphe, on trace une limite horizontale à 5% de retrait. Et on remarque que:

- . toutes les T.E.M. > 25% sont au-dessus;
- . toutes les T.E.M. < 25% sont au-dessous;
- . toutes les valeurs des "cigares" < 15 cm sont au-dessous;
- . tous les sols fissurés, après l'essai de perméabilité, sont au-dessus.

La zone des bons sols est définie par 4 limites:

- . retrait = 0% et 5%;
- . "cigare" = 5 cm et 15 cm.

Ces chiffres, faciles à retenir, n'ont de valeur que pour la région étudiée.

Dans cette zone des bons sols ainsi définie, on trouve des sols mélangés, mais aussi certains sols silteux que l'essai de perméabilité et la valeur de la T.E.M. ont vite fait de différencier.

3,32) Conclusion

Les bons sols donnent un cigare d'environ 10 cm, ils ont une T.E.M. de faible valeur (< 20 %) et durent quelques 60 mn à l'essai de perméabilité.

Ces essais servent de guide: on simplifiera en disant qu'un "cigare" de 5 cm correspond au petit doigt et un "cigare" de 15 cm correspond à la paume de la main.

3,4) Grille d'aide à la décision

Le test du cigare permet de sélectionner une terre propre à donner une structure résistante aux chocs et à l'eau. A condition que l'on écarte les sol silteux qui donnent aussi un bon cigare mais qui, pourtant, engendrent des structures vulnérables à l'eau (pourcentage des vides élevé).

Or, dans le déroulement de l'analyse en trois phases, les quatre essais qui précèdent le test du cigare peuvent déterminer si le sol est silteux.

Donc, en fin de la deuxième phase, avec cinq essais sur le terrain, on peut vérifier si le sol peut engendrer une structure continue idéale pour la production des blocs d'adobe.

Dans ce but, un tableau a été conçu pour les briquetiers: en cochant les cases ils obtiendront une réponse rapide. (Voir page suivante).









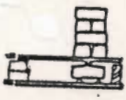

3,5) Recherches à poursuivre

Cette analyse de huit essais en trois phases manque de corrélation avec l'analyse des sols pratiquée par les laboratoires des grandes administrations tels que les Travaux Publics.

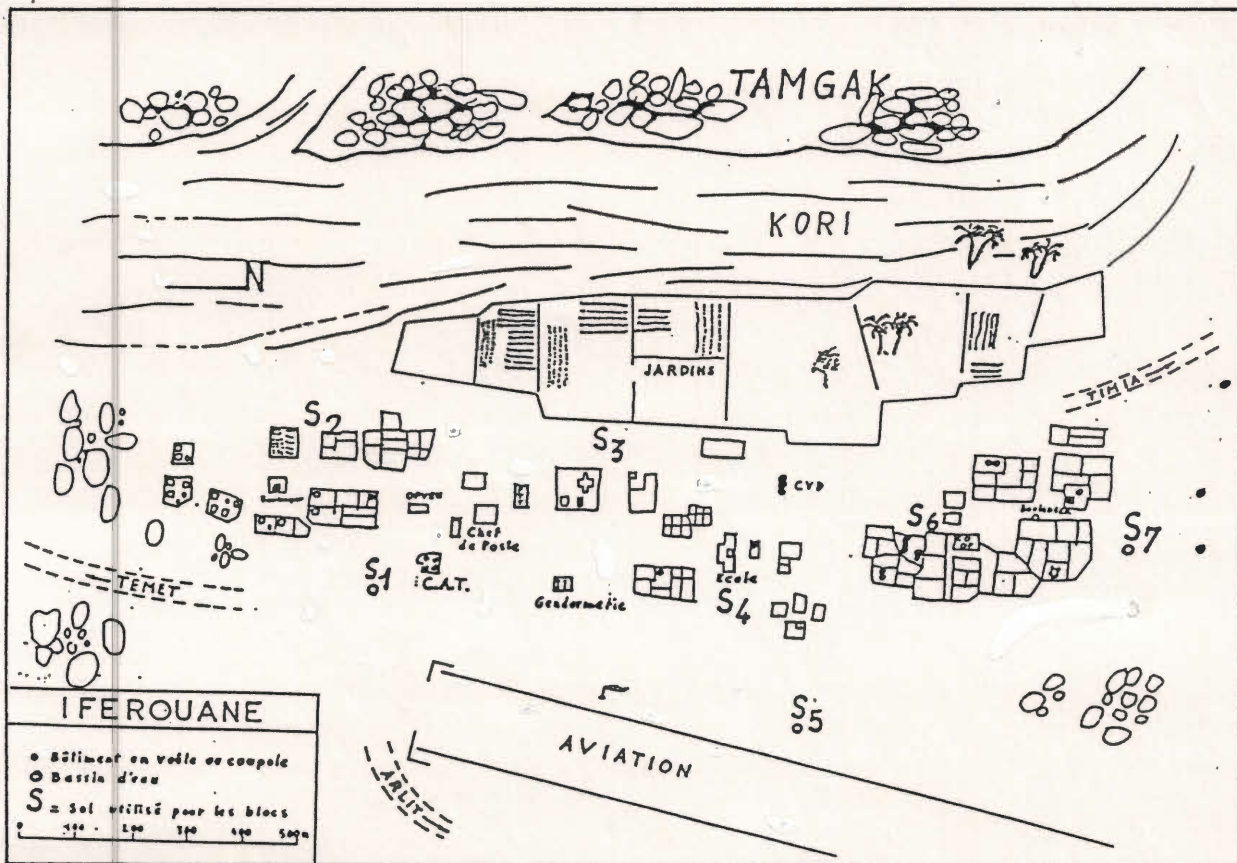
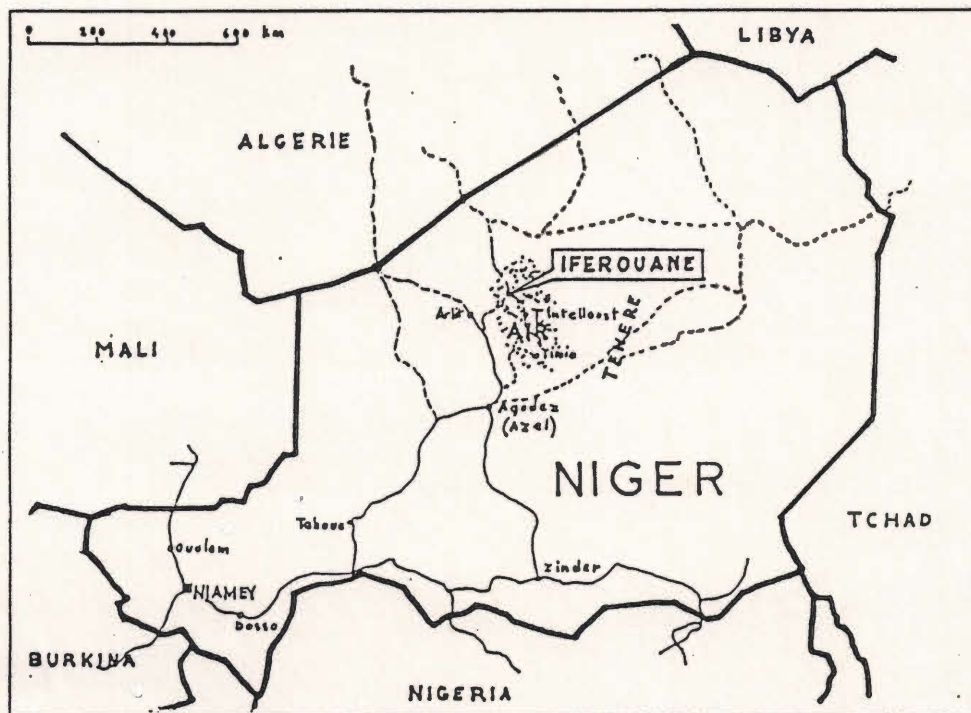
Afin d'amorcer un début d'équivalence avec certains essais normalisés, l'étude cherche à établir une relation entre:

- . l'essai de T.E.M et les limites d'ATTERBERG;
- . le "test du cigare" et l'essai de cohésion (du "8").

IDENTIFICATION DU SOL POUR L'ADOBE

SOL N°	lieu: date:	3 réponses (A, B ou C) par essai. En choisir une; cochez-la (X).			
		A	B	C	
1	VUE 	très fin poussiéreux	il y a TOUT de gros à très fin	fin et en bloc	
2	TOUCHER SEC 	peu rugueux facile à réduire en poudre	rugueux facile à écraser	morceaux difficiles à casser	
3	TOUCHER HUMIDE 	fond rapidement colle	se désagrège rapidement colle très peu	fond lentement colle beaucoup	
4	LAVAGE DES MAINS 	peu difficile à rincer	très facile à rincer	savonneux difficile à rincer	
Total des X par colonne					
Colonne la plus cochée					
		Arrêter	Continuer ...		
squelette trop fin, l'essai au Cigare n'est pas valable bloc de résistance moyenne mais trop fragile à l'eau		5			
		ESSAI DU CIGARE 			
		< 5cm	> 5cm	< 15cm	> 15cm
		sol trop sableux	sol bien mélangé	sol mélangé risque de silt	sol trop argileux
		bloc friable	bloc très bon	bloc possible	bloc fissuré
NON	NON	OUI	A VOIR	NON	
					

ANNEXE I



ANNEXE II

MATÉRIEL DE LABORATOIRE

1) Importés d'Europe:

- * 1 jeu de 8 petits tamis: 20-10-5-2-0,5-0,2-0,08mm + fond de Ø 10 cm.
- * 1 balance de précision type romaine à 0,05g.

2) Importés de Niamey:

- * 1 éprouvette graduée de 1000 ml-500 ml-10 ml.
- * 1 pissette de 250 ml.
- * 1 spatule droite rigide
- * 10 bouteilles en verre à base carrée (origine: whisky, idéales pour l'essai de sédimentation)
- * 1 pioche
- * 1 pelle
- * 50 cm de profilé métallique en U de 20 mm (4 moules de retrait)
- * 100 cm de fer à béton de diamètre de Ø 10mm.
- * 1 pinceau souple de 10 mm de large.
- * 1 marteau dont le manche sert de pilon.
- * Divers récipients en aluminium
- * 1 bidon d'eau de 20l et 1 de 4l.
- * Des sacs plastiques étanches pour la prise d'échantillons humides
- * 5 grands couvercles de bassines (essai de perméabilité)

3) Fabriqués sur place:

- * 4 moules de retrait à partir du profilé métallique en U de 20 mm.
- * 1 moule en bois sans fond de 10 x 10 x 2 (essai de perméabilité).
- * 2 tiges en fer de diamètre 10 de 50 cm de long (essai T.E.M)
- * 1 moule en forme de 8, plus le support (essai de cohésion)
- * 1 agitateur manuel pour l'éprouvette de 500 ml (disque en plastique vissé au bout d'une tige de fer). (sédimentométrie par siphonage)
- * Fonds de boîtes de conserve (récipients aux multiples usages)

ANNEXE III
ANALYSE DE SOL

S ₁	Profondeur : [0,1 - 2m]	Date de prélèvement: 3/11/88	Date d'essai: 9/11/88
	T.E. 2%	Lieu: Près du projet CAT: Iférouane	
1	VUE	Conglomerat regueux de Tout de gros à très fin	
Sur échantillon		- sur le terrain	
2	TOUCHER SEC	Regueux très facile à casser	
3	TOUCHER HUMIDE	Se désagrège rapidement. Ne colle pas	
4	LAVAGE DES MAINS	Très facile à rincer	
5	CIGARE	(-) de 4 cm	
Dans un local		- sur échantillon	
6	T.E.M.	21%	
7	RETRAIT	1,3 % DURETE Très friable	
8	PERMEABILITE	20 mm. ϕ 10 Peu imbibé. non fissuré	

CONCLUSION:

Sol très sableux pour les blocs
Bon pour les remplissages par la
présence de gravier.

S ₃	Profondeur [0,15m]	Date de prélèvement: 3/11/88	Date d'essai: 7/11/88
	T.E.	Lieu: Près des jardins niveau PTT. Iférouane	
1	VUE	Très fin poussiéreuse jaune clair	
Sur échantillon		- sur le terrain	
2	TOUCHER SEC	peu regueux. Facile à réduire en poudre	
3	TOUCHER HUMIDE	Colle et fond rapidement	
4	LAVAGE DES MAINS	facile à rincer	
5	CIGARE	8 cm	
Dans un local		- sur échantillon	
6	T.E.M.	24%	
7	RETRAIT	3 % DURETE Résiste peu	
8	PERMEABILITE	20 mm, ϕ 15 cm Rond, non fissuré	

CONCLUSION:

Sol silteux très fin pour les blocs
Bon pour les enduits esthétiques INTERIEUR.

ANALYSE DE SOL

S ₅	Profondeur: [0,1 - 1m]	Date de prélèvement: 9/11/88	Date d'essai: 11/11/88
	T.E. : 2%	Lieu: ante Ecole: et Aviation - I-férouane	
1	VUE	Sableux très compacté Mélangié, rouge	

Sur échantillon - sur le terrain

2	TOUCHER SEC	Ru geun
3	TOUCHER HUMIDE	Se desagrège facilement. Ne colle pas
4	LAVAGE DES MAINS	Facile à rincer
5	CIGARE	8 cm

Dans un local - sur échantillon

6	T.E.M.	18%
7	RETRAIT	1,5% DURETE Peu dure
8	PERMEABILITE	60 mm . ϕ 39 mm très imbibé . Non fissuré

CONCLUSION:

Sable argileux
Excellent pour les blocs
Extraction facile
En grande quantité.

S ₇	Profondeur: [1 - 2m]	Date de prélèvement: 31/10/88	Date d'essai: 22/11/88
	T.E. 3,6%	Lieu: Au Sud d'I-férouane	
1	VUE	En bloc très dure par couche beige très clair	

Sur échantillon - sur le terrain

2	TOUCHER SEC	Très difficile à casser
3	TOUCHER HUMIDE	Fond lentement - Colle beaucoup
4	LAVAGE DES MAINS	Savonneux - Difficile à rincer
5	CIGARE	30 cm

Dans un local - sur échantillon

6	T.E.M.	33%
7	RETRAIT	7% DURETE Très dure
8	PERMEABILITE	60 mm . ϕ 40 très imbibé - Très fissuré

CONCLUSION:

Sol argileux
Ne peut être employé seul

**I.R.I.G.M.
GRENOBLE**

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance: IFEROUANE

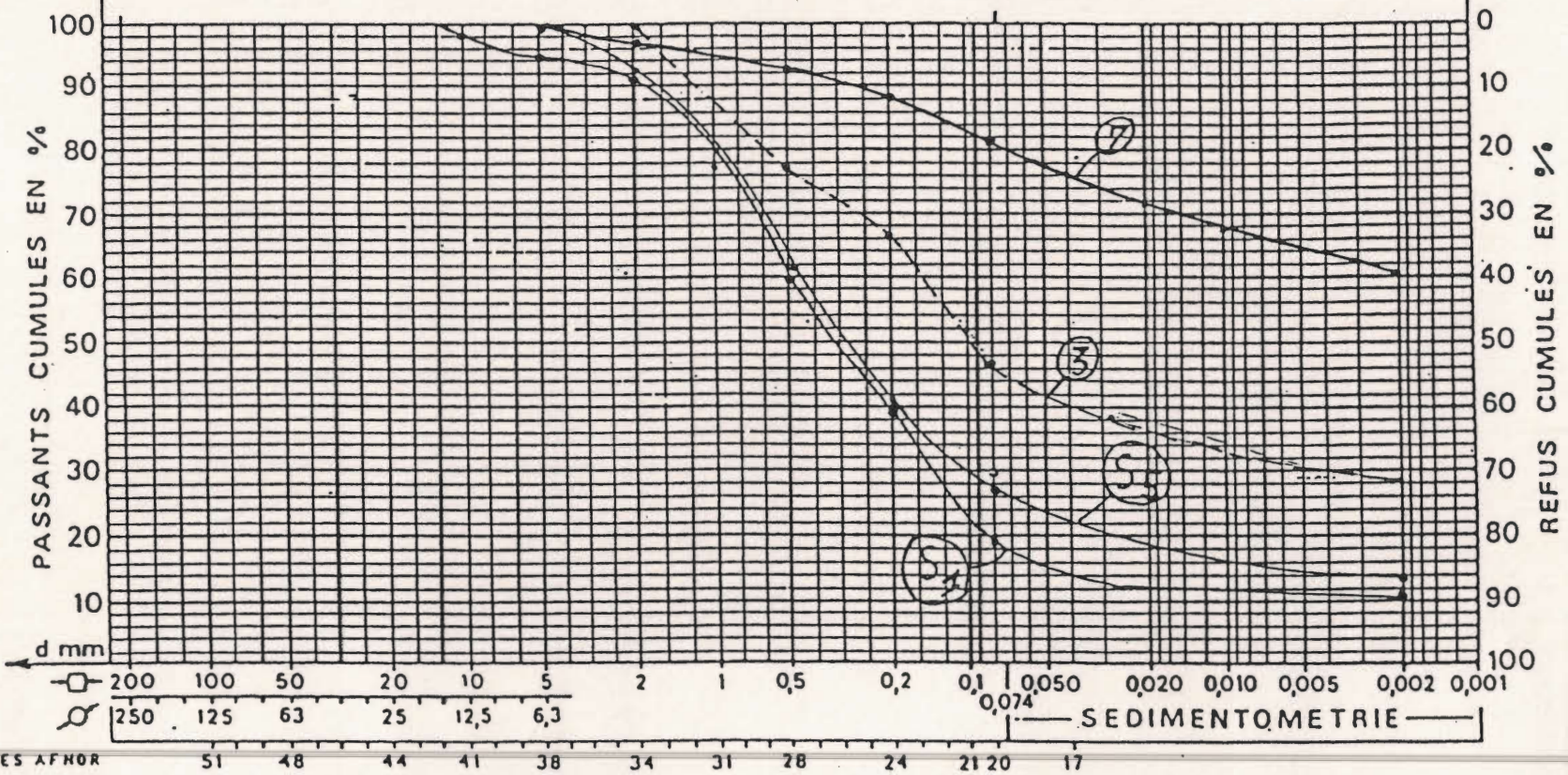
Nature: 4 sols Types S₁-S₃-S₅-S₇

CLASSIFICATION

DECIMALE	Cailloux	Graviers	Sables gros	Sables fins	Limons	Argiles
----------	----------	----------	-------------	-------------	--------	---------

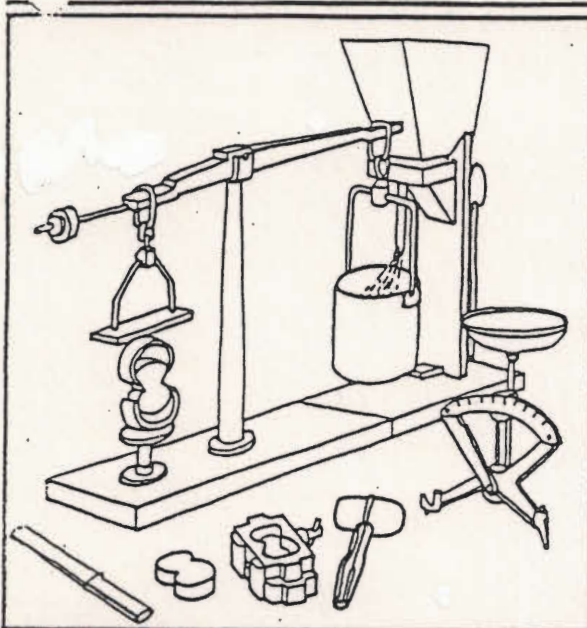
U.S.B.R.	Cailloux	Graviers		Sables			Limons (Silts)	Argiles
		gros	fins	gros	moyens	fins		

TAMIS A.S.T.M.	8"	4"	3"	3/4"	4	8	12	16	30	40	50	100	200 (mesh)
----------------	----	----	----	------	---	---	----	----	----	----	----	-----	------------



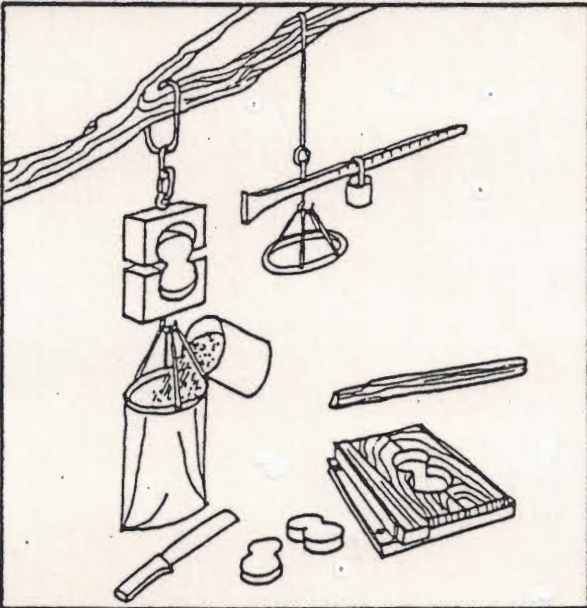
ANNEXE IV

COHESION



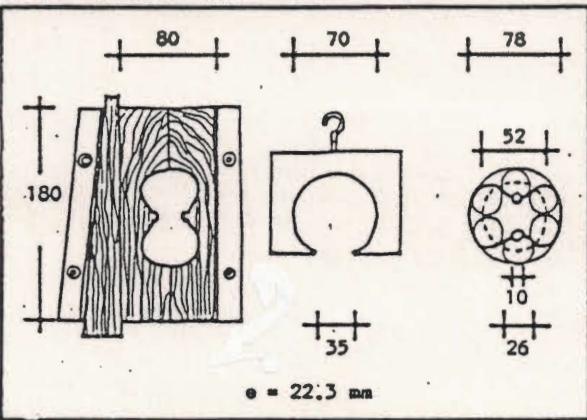
L'essai de cohésion que l'on appelle aussi essai à la traction humide ou encore essai du 8 (à cause de la forme de l'échantillon testé) a été mis au point par l'allemand Niemeyer. Il fut publié pour la première fois en 1944 puis adopté en 1947 par Wagner pour être enfin intégré aux normes Din en 1956.

La terre est constituée de 2 fractions de grains principales : les inertes ($\phi > 2$ mm) et le mortier grossier ($\phi < 2$ mm). Si l'on observe le mortier grossier afin d'évaluer la cohésion des grains entre eux, il faut faire un essai de résistance à la traction. Pour raccourcir la durée de cet essai, on le réalise sur un échantillon humide gagnant ainsi le délai du séchage. Cet essai peut se faire en laboratoire ou sur le terrain. En laboratoire, sur un appareil à balancier et pesage automatique, ou sur un appareil à potence avec débit et arrêt de charge automatique, ou sur un appareil sophistiqué, entièrement automatique avec enregistrement. Sur le terrain, avec quelques planches et clous, ficelles et récipients en suspendant l'échantillon à une branche d'arbre, une table ou un encadrement de porte, etc... Le sable de charge peut être remplacé par un liquide, eau ou huile de vidange p.e. Il faut réduire au maximum la distance de chute de la charge.



1 - MODE OPERATOIRE

La fraction de grains de $\phi > 2$ mm est éliminée par tamisage. L'essai est donc pratiqué sur la fraction mortier grossier qui est séchée et broyée. Ce broyage de la terre s'effectue sur une plaque métallique (60 x 60 cm), à l'aide d'un marteau (2,5 x 2,5 cm) en ajoutant régulièrement très peu d'eau, jusqu'à obtenir une galette compacte et de consistance plastique. Cette galette est ensuite soulevée à l'aide d'un couteau et découpée en larges lanières qui sont posées les unes à côté des autres verticalement, puis de nouveau écrasées avec le marteau. La terre est ainsi retravaillée, une nouvelle galette de nouveau découpée, puis encore écrasée, jusqu'à ce que la structure de la galette soit tout à fait homogène sur sa face inférieure et d'humidité égale en tout point de sa masse. Les terres parfaitement sèches avant de commencer la préparation doivent reposer 12 à 24 h après la préparation pour permettre la meilleure dispersion de l'eau et donc favoriser l'obtention d'une cohésion maximale des grains.



200 g de la terre préparée sont prélevés. La densité de cette terre est élevée par pétrissage et en la tapant plusieurs fois sur une plaque métallique. On forme ensuite une boule de $\phi = 50$ mm. Il faut éviter une manipulation prolongée pour ne pas faire varier la consistance de la boule en différents points de sa masse. Pour les terres maigres, le ϕ de la boule est réduit de $\frac{1}{2}$ à 1 mm. Pour les terres grasses, le ϕ est augmenté de $\frac{1}{2}$ à 1 mm. Le diamètre est vérifié à l'aide d'un anneau. Ensuite, on laisse choir la boule d'une hauteur de 2 m sur une surface lisse et dure. La bonne consistance est obtenue si la partie aplatie de la boule est égale à 50 mm. Pour un ϕ supérieur ou inférieur, il faut recommencer la préparation : laisser sécher pour un $\phi = 50$ mm (terre trop plastique) ou ajouter un peu d'eau avec un pulvérisateur si le $\phi = 50$ mm (terre trop sèche).

Ensuite on prépare l'échantillon : dans un moule en forme de 8, légèrement huilé, la terre préparée est damée fortement, en 3 fractions, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'augmentation de la densité. On égalise ensuite les 2 côtés de l'échantillon avec un couteau, sans humidifier. L'échantillon est aussitôt démoulé en laissant tomber le moule sur une surface dure d'une hauteur de 10 cm. On a préparé au moins 3 échantillons.

L'échantillon est fixé sur l'appareil de mesure, suspendu à une griffe en fer ou même en bois dur de ϕ intérieur égal à 70 mm, d'ouverture égale à 35 mm (section égale à 22 mm pour les griffes en fer). Une autre griffe suspend à l'échantillon un récipient qui recevra la charge de rupture :

du sable (ϕ 0,2 mm à 1 mm) venant d'un silo; 300 g de sable en 4 minutes, à raison de 12,5 g/seco. ou un maximum de 750 g/min., jusqu'à rupture de l'échantillon. Si la section déchirée contient un corps étranger, la préparation de la terre n'est pas homogène et la mesure n'est pas valable. La mesure de la cohésion est la moyenne de 3 mesures dont les résultats ne sont pas écartés de plus de 10 %. Elle s'exprime en CN/cm^2 (g/cm^2) ou CN/5 cm^2 , la section de l'échantillon étant égale à 5 cm^2 .

QUALIFICATION DE LA COHESION

COHESION	MORTIER	QUALIFICATION	τ	τ
			(cN/5 cm^2) (g/5 cm^2)	(cN/cm^2) (g/cm^2)
A PEINE COHESIF	SABLEUX	TRES MAIGRE	200 - 300	40 - 60
FAIBLEMENT COHESIF	MAIGRE	TRES MAIGRE	300 - 400	60 - 80
		MAIGRE	400 - 550	80 - 110
MOYENNEMENT COHESIF	MOYEN	PRESQUE MAIGRE	550 - 750	110 - 150
		PRESQUE GRAS	750 - 1000	150 - 200
FORTEMENT COHESIF	GRAS	GRAS	1000 - 1350	200 - 270
		TRES GRAS	1350 - 1800	270 - 360
EXTREMEMENT COHESIF	ARGILEUX	MAIGRE	1800 - 2400	360 - 480
		GRAS	2400 - 3200	480 - 640
		TRES GRAS	3200 - 4500	640 - 900

CRATerre

Il ne faut pas oublier que les meilleurs tests sont les intempéries et le temps qui passe sur de vrais bâtiments enduits.

3,43) Les meilleurs enduits

A l'issue des tests, deux enduits sont sélectionnés pour étanchéifier des toitures en voûtes et coupoles: un enduit à base de fumier de chèvre et un enduit avec huile de vidange.

a) L'enduit à base de fumier de chèvre

C'est le mélange qu'utilise déjà le projet.

** Préparation de l'enduit*

40% en volume de fumier de chèvre: crotin + paille de la litière. Peut éventuellement être amélioré avec de la paille coupée en morceaux de 5 cm, quand on en dispose;

un sol sablo-argileux (essai au cigare: 10 cm) sans gros gravier ($\varnothing = < 5\text{mm}$); mélanger trois semaines à l'avance et garder mouillé, pour une meilleure participation de toute l'argile et des substances biochimiques.

** Préparation du support*

Le risque de décollement est moins grand pour les toitures que pour les murs. Comme on l'a vu précédemment, il est toujours bon de gratter les joints, de piquer et balayer les supports et d'incruster des cailloux sur les murs, mais pas sur les toitures.

** Application*

Il faut toujours mouiller le support avant de jeter l'enduit.

L'application se fait en deux couches et, de préférence, sur un gobetis d'accrochage. Première couche: de 1 à 1,5 cm. A adapter suivant l'importance des fissures. Laisser bien fissurer et sécher.

Deuxième couche: inférieure à 1 cm. Surface irrégulière pour ralentir la vitesse d'écoulement qui participe à l'érosion.

b) L'enduit à 7% d'huile de vidange

Il est, de loin, le plus performant.

** Préparation du support*

Choisir un sol mélangé fin, peu cohésif (max. = 2mm, cigare = 5cm); bien détremper la terre concassée durant deux semaines pour limiter la présence de modules argileux;

procéder au mélange sur de petites quantités, pour être sûr de pouvoir tout huiler correctement:

100l de terre mouillée à la T.E.M. (2 brouettes de 50 l.),
7l d'huile de vidange (10 boîtes de conserve de 800 ml remplies à 2 cm du bord).

Si le sol n'est pas propre, mélanger directement dans les deux brouettes avec 3,5l d'huile de vidange pour chacune (cela évite d'avoir des modules de terre brute qui éclatent l'enduit sous l'action de l'eau).

Mélanger à la pelle ou avec des gants, jusqu'à ce que la couleur soit uniforme.

** Préparation du support*

Procéder comme cela a déjà été indiqué: gratter, balayer, piqueter murs et toitures. Incruste des cailloux dans les murs.

** Application*

Comme pour l'enduit à base de fumier de chèvre, il faut d'abord mouiller le support.

On procède ensuite à l'application de l'enduit en deux couches.




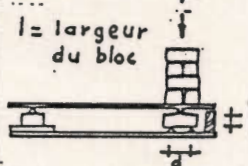

Première couche: ép. 1 cm, non lissée.

Deuxième couche: ép. 0,5 cm, lissée.

Cet enduit, restant souple, peut être retouché longtemps après son application. On peut "serrer" l'enduit (en lissant à l'aide d'une taloche une zone fissurée, qu'on a préalablement mouillée, tout en appuyant pour écraser et boucher les fissures). On peut même le couvrir d'une nouvelle couche, à n'importe quel stade de son vieillissement à condition de le préparer comme un support d'origine.

Maintenant, il reste à observer le comportement de cet enduit dans le temps.

Annex I

CRITERES DE QUALITE	TESTS D'ACCEPTATION		
	PROCEDURE	FREQUENCE	CORRECTION
Aspect des arêtes Aucun vide accepté au niveau des arêtes	Observation visuelle 	dès le démoulage	Améliorer le tassement de la terre, surtout dans les coins du moule
dimensions * Largeur: + 5% -> bloc refusé * Longueur: - 5% -> bloc refusé * Terre collée dessous -> bloc refusé	Mesures ou observations visuelles 	2 jours après le démoulage	-> Largeur: contrôler l'eau de malaxage -> Longueur: ajouter du sable -> Terre colle: niveler et sabler légèrement l'aire de production
fissures Est toléré: 1 fissure < 5 cm au milieu du bloc. Autre fissure -> bloc refusé	Observations visuelles 	En fin de séchage	Utiliser un sol plus sableux.
Résistance mécanique $M_r = \frac{3 \cdot P \cdot d}{2 \cdot l \cdot h^2} \geq 3 \text{ kg/cm}^2$ l = largeur du bloc 	Prendre au hasard 3 blocs du stock journalier: Si 1 sur 3 < 3kg/cm ² recommencer sur 3 autres blocs: Si 1 sur 3 < 3kg/cm ² refuser le stock.	En fin de séchage	-> Augmenter le temps de malaxage. * Sol trop sableux: -> ajouter de la terre argileuse. * Sol trop silteux: -> changer de site.
Erosion à l'eau 10 x 12 L. 	Prendre au hasard 1 bloc du stock qui semble silteux et lui faire subir le test à côté d'un bloc considéré normal par le client. Après séchage, comparer la perte en terre: Si le 1er est nettement + petit, refuser le stock.	En fin de séchage	-> Bien dégager le site de sa couche superficielle en général silteuse. -> Etre vigilant à l'analyse de contrôle. -> Changer de site si le sol est silteux.