



N° d'ordre :

UNIVERSITE DE M'SILA

**FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES DE
L'INGENIORAT**

Département de Génie civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister

Spécialité : Génie civil

Option : Géo matériaux

Par

AMMAR NOUI

SUJET

**AMELIORATION DE LA DURABILITE DE LA BRIQUE DE
TERRE SECHEE**

Soutenu publiquement le 18/03/2009 devant le jury composé de :

Dr BEDDAR Miloud

MC, Université de M'sila

Président

Dr BENCHEIKH Mohamed

MC, Université de M'sila

Rapporteur

Dr MEZGHICHE BOUZIDI

MC, Université de Biskra

Examineur

Dr BOUDAUD Zine-Eddine

MC, C.U. d'Oum el Bouaghi

Examineur

Dr RAHMOUNI Zine-el-Abidine

MC, Université de M'sila

Examineur

Promotion: 2007/2008

Remerciement

*Je tien à remercier très fort mon encadreur : Dr. Mohamed ben cheikh, de
M'avoir soutenu, aide et me donne de ses connaissances, son expérience
et ses orientations importantes et considérables .*

*L'étude présentée ici à été effectuée au niveau de notre laboratoire de recherche géo
matériaux de l'université de m'sila. Idée par M^{ERS} :lounis ;youcef et Mme malika , qu' Ils trouve ici
l'expression de nos vifs remerciements.*

*Notre gratitude est dirigée également vers tout mes enseignants et toute personne ayant aidé à
l'élaboration de ce travail, a tout mes collègue de la promos.*

A MIMA ;BABA ;

MA FEMME MES FILLES OUMAIMA ET RAYHANA ;

MES FRERES ET A TOUS QUI EME AMMANA

KADOUDJA ET DJAOUHARA

AMMAR NOUI

Résumé

Les blocs de terre crue compressées constituent depuis une ou deux décennies une nouvelle alternative aux matériaux de construction classiques tels que le béton ou l'acier. Bien que la méthodologie de fabrication des blocs ait été maîtrisée et que les matériels aient été conçus pour permettre l'obtention d'un produit performant, il n'existe pas encore de norme d'essai reconnue de manière universelle pour évaluer la résistance en compression de ces blocs.

Pour valider les procédures d'essais, de nombreux essais de comparaison ont été réalisés avec différents matériaux pour lesquels les identifications et les paramètres de mise en oeuvre ont été très précisément enregistrés afin de vérifier la reproductibilité des résultats. D'autre part, des essais ont été réalisés dans d'autres laboratoires, permettant ainsi de vérifier la faisabilité de notre action expérimentale.

Cette recherche a pour objectifs:

-Savoir les antérieurs travaux de recherches et études de caractérisations, analyse des résultats des expériences réalisées sur le matériau terre.

-Tenter d'améliorer les caractéristiques de la brique de terre crue par stabilisation à l'aide de différents moyens physico chimique.

-Procéder a une nouvelle action expérimentale basée sur nos moyens de laboratoire - moules métallique, malaxeur a béton,...etc.- et de nos besoins -amélioration de la durabilité de la brique de terre séchée-.

Nous avons pu déterminer les paramètres de production des éprouvettes cubiques, traitées ou non, à savoir la teneur en eau optimale de compactage statique au moyen d'une presse hydraulique, alors que les éprouvettes parallélépidiques sont obtenues par assemblage de deux blocs .L'ensemble des produits obtenus ont subissent une cure a l'aire libre ensuite dans une étuve à 60 C°, avant de réaliser les différentes essais de compression, absorption,...etc. Sur la brique de terre obtenue.

Mots clés :

Stabilisation, durabilité, faisabilité, parallélépidiques, reproductibilité, caractérisation.

Présentation du matériau

La terre est le matériau le plus simple que nous ayons à notre disposition. C'est sans doute le matériau qui a été le plus utilisé pour construire les murs de nos maisons à travers tous les continents et à toutes les époques. Le matériau a été très dévalorisé pendant de nombreuses années et l'on se rend compte aujourd'hui que les Anciens avaient bien compris toutes les qualités de la terre pour la fabrication de maisons.

● Diversités d'utilisation

Nous pouvons fabriquer les murs des maisons, faire des cloisons intérieures, des enduits intérieurs et extérieurs, remplir des colombages, isoler (isolation thermique et acoustique).

● Fabrication - Approvisionnement

Nous pouvons construire des murs sous plusieurs formes comme par exemple :

- **La bauge** : mélange de terre argileuse avec de la paille ou toutes autres fibres ligneuses. Elle est mise en oeuvre sous forme de levées de terre qui est ensuite découpée verticalement (à la paroïre) pour obtenir un mur bien d'aplomb.
- **L'adobe** : fabrication de briques en terre crue séchées à l'abris, elles sont maçonnées avec ou sans liant.
- **Le torchis** : mise en oeuvre d'une ossature bois en colombage et remplissage des vides avec de la terre liée à de la paille, des petits cailloux, du foin etc... dans certains cas on fixe sur l'ossature des lattes de bois qui reçoivent un enduit permettant de protéger l'ensemble de la structure bois des intempéries.
- **Le pisé** : mise en oeuvre de la terre sous forme de banchage (coffrage) puis tassée avec un pilon, les levées peuvent être jointoyées entre elles avec un mortier de chaux.

Ces dernières années, plusieurs méthodes nouvelles ont été développées, comme par exemple des mélanges terre- copeaux de bois, la préfabrication pour le pisé etc...

● En conclusion

Vivre dans une maison en terre apporte du confort, un sentiment de sécurité et une sensation de bien-être (solidité du bâtiment). Les constructions en terre crue se retrouvent dans différentes régions de France, l'épaisseur des murs maintient la fraîcheur l'été et accumule la chaleur l'hiver. Aujourd'hui certains artisans ont conservé et amélioré les techniques de mise en oeuvre.

La terre est le matériau écologique par excellence.

Summarizes

The blocks of compressed earth is for one or two decades a new alternative to traditional building materials like concrete or l'acier. Although the methodology manufacturing blocks has been brought under control and that the materials have been designed to allow l'obtention a product performing, there is still no test standard recognized universally to assess the resistance compression of these blocks.

To validate the test procedures, many of comparison tests have been achieved with different materials for which identifications and parameters for implementation have been very precisely registered to verify the reproducibility of results. On the other hand, tests have been conducted in other laboratories, thus check the feasibility of our experimental.

The research aims to:

- Know the previous research work and studies of characterization, analysis of the results of experiments conducted on the material earth.
- Trying to improve the characteristics of clay brick by stabilization through various means physical chemistry.
- Carry a new action based on our experimental laboratory capacity-metal molds, a concrete mixer, etc... - and our needs-improving the sustainability of the brick-dried earth.

We were able to determine the parameters of production of cubic test, whether treated or untreated, the water content optimum compaction static using a hydraulic press, while parallélépidiques samples are obtained by assembling two blocs. Whole products have obtained show a cure al'aire free then in an oven at 60 ° C, before making the different compression tests, absorption, etc... On the brick of land obtained.

Keywords:

Stabilization, sustainability, feasibility, parallélépidiques, reproducibility, characterization.

الطوب التقليدي المضغوط يمثل منذ عقد أو عقدين من الزمن بديل جديد لمواد البناء التقليدية مثل الحديد أو الخرسانة. ورغم أن المنهجية التي يتم بها تصنيع القطع متحكم فيها و المواد المستعملة تمكن من الحصول على منتج جيد ، لا يوجد حتى الآن أي اختبار قياسي المعترف به عالميا لتقييم مقاومة ضغط هذه القطع.

للمصادقة على إجراءات الاختبار ، فإن العديد من التجارب المقارنة قد تحققت مع مختلف المواد التي لتحديد الهوية والمعالم للتنفيذ وقد تم تسجيلها بدقة للتحقق من مصداقية النتائج. ومن ناحية أخرى ، أجريت تجارب في مختبرات أخرى ، تساعدنا في التحقق من جدوى التجارب التي قمنا بها.

ويهدف هذا البحث إلى :

- معرفة البحوث السابقة ودراسات مختلف الخصائص ، وتحليل نتائج التجارب التي أجريت على مادة التربة.
- محاولة لتحسين خصائص لبنة من طين من خلال وسائل مختلفة لتحقيق الاستقرار بواسطة مختلف المواد الكيميائية و الفيزيائية.
- تنفيذ عمل جديدة يستند على الوسائل المتوفرة في المخبر مثل قوالب معدنية ، خلاطه خرسانة ، الخ... وهدفنا المتمثل في تحسين استدامه طوب التربة المجفف.

وقد تمكنا من تحديد معالم انتاج عينات الطوب المكعب ، سواء المعالجة أو غير المعالجة ، بدلالة المحتوى المائي للتربة، يتم الحصول على العينات المكعبة عن طريق الضغط الميكانيكي ، في حين العينات الثانية يتم الحصول عليها عن طريق تجميع كتلتين من العينة المكعبة. المنتجات التي تم الحصول عليها تخضع إلى علاج حراري طبيعي ثم في فرن عند 60 درجة مئوية ، قبل إجراء مختلف تجارب الضغط ، والاستيعاب ، الخ... على لبنة من التربة التي يتم الحصول عليها.

الكلمات الرئيسية:

الاستقرار ، الاستدامة، والجدوى، تجميع كتلتين، للمصادقة والوصف.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS ET HISTORIQUE DES CONSTRUCTIONS EN TERRE.

I.1-introduction.....	01
I.2-Diversité de construction en terre.....	01
I.3-Universalité de la construction en terre crue.....	02
I.4-Histoire de la construction en terre crue.....	03
I.5. problématique.....	07

CHAPITRE II : REVUE GÉNÉRALE SUR LE MATÉRIAU TERRE

- UN MATÉRIAU DE CONSTRUCTION-

II.1. Introduction.....	08
II-2 –Processus altération de la roche mère.....	08
II-3- Horizons principaux.....	09
II-4- structures.....	10
II-5- textures.....	11
II-6-Matières organiques et minérales.....	11
II -7- Propriétés et classifications du produit terre.....	16
II -7-1- Propriétés générales.....	16
II -7-2- Propriétés fondamentales.....	17
II -7-3- Classification des terres.....	19
II -7-4- Procédure de classification des terres.....	24
II -7-5- Procédure d'identification des terres.....	25
II-8-conclusion.....	33

CHAPITRE III : TRAITEMENT DES TERRES - STABILISATION-

III-1- Introduction.....	34
III-2- Principe de stabilisation des blocs de terre crue.....	34
III-3 Quand stabiliser ?.....	35
III-3-1-Moyens de stabilisation.....	35
III-3-2- Mécanismes de stabilisation.....	35

III-3-3- <i>Les matériaux de stabilisation</i>	42
III-4-conclusion.....	52
<u>CHAPITRE IV : CONVENANCE; PERFORMANCE ET CARACTÉRISTIQUES</u>	
IV-1 Introduction	53
IV-2 Convenance des terres.....	53
IV-3 - <i>Stabilisation</i>	56
IV-4 -Essais	59
IV-5 –contrôle et acceptation.....	64
IV-6 – conclusion.....	70
<u>CHAPITRE V : CONSTRUIRE AVEC DU BTC UN HABITAT BIOCLIMATIQUE DURABLE</u>	
VI -1- Introduction	71
VI -2 – Propriété thermo physique des matériaux de construction.....	71
VI -3-Les caractéristiques de conception	74
VI -4 - Du HQE à la bioclimatique.....	75
VI -5-Etude de cas	78
VI -6-Conclusion.....	86
<u>CHAPITRE VI : IDENTIFICATION EXPERIMENTALE ET ANALYSE DES RESULTATS</u>	
VI-1-Introduction :	87
VI-2- Contexte général de l' étude:	87
VI-3 Matériels Utilisés	88
VI-4 Méthodologie de travail.	90
VI-5 Propriétés essentielles des constituants.	92
VI-6- Les compositions des différents types des terres étudiés.	93
VI-7- Essais et équipements.	95
VI -8 - Présentation des résultats	100
VI-9-Analyse des résultats.....	106
Conclusion Générale Et Perspectives	115
ANNEXE.....	118
BIBLIOGRAPHIE.....	121

LISTE DES FIGURES

<u>Chapitre II :</u>	Page
Fig. 2 – 1 : <i>Altération de la roche mère</i>	09
Fig. 2 – 2 : <i>Processus poursuite de l'altération par les matières organiques</i>	09
Fig. 2 – 3 : <i>Processus migrations verticales des éléments solubles</i>	09
Fig. 2 – 4 : <i>Horizons principaux- les différentes couches du sol-</i>	09
Fig. 2 – 5 : <i>Nature de la terre</i>	11
Fig. 2 – 6 : <i>Forces électrostatiques</i>	15
Fig. 2 – 7 : <i>Diagramme de plasticité "P"</i>	18
Fig. 2 – 8 : <i>Diagramme de résistance à la traction "T"/exemple de masse volumique en fonction de la teneur en eau</i>	19
Fig. 2 – 9 : <i>Carte des principaux sols "PEDOLOGIQUE"</i>	23
Fig. 2 – 10 : <i>Carte des terre "SPECIFIQUE"</i>	24
Fig. 2 – 11 : <i>Essai d'adhérence -d'éclat-</i>	30
Fig. 2 – 12 : <i>Essai de retrait</i>	30
Fig. 2 – 13 : <i>Essai de sédimentation</i>	30
Fig. 2 – 14 : <i>Test de résistance a sec</i>	32
Fig. 2 – 15 : <i>Test ressuage</i>	32
Fig. 2 – 16 : <i>Test de cohésion</i>	32
<u>Chapitre III :</u>	
Fig. 3 – 1 : <i>Les différentes manières pour densifier</i>	36
Fig. 3 – 2 : <i>Influence du mode de compression sur le taux de vide</i>	38
Fig. 3 – 3 : <i>Influence de la teneur en eau de moulage sur la Masse volumique sèche</i>	39
Fig. 3 – 4 : <i>Diagramme de granularité</i>	41
Fig. 3 – 5 : <i>Correction de granularité de terre par mélange</i>	42
Fig. 3 – 6 : <i>Influence des fibres sur la teneur de sable et le mode de compactage sur la repense mécanique</i>	42
Fig. 3 – 7 : <i>Influence de la teneur en ciment sur la repense mécanique du produit finie</i>	43
Fig. 3 – 8 : <i>Influence du type et la teneur en ciment; le temps de retenu sur la repense mécanique du produit finie</i>	45
Fig. 3 – 9 : <i>Influence du temps de malaxage ; la température de cure sur la repense mécanique du produit finie</i>	45
Fig. 3 – 10 : <i>Influence de la teneur en chaux sur la repense mécanique du produit finie</i>	46
Fig. 3 – 11 : <i>Influence de la teneur en chaux sur la teneur en eau</i>	46
Fig. 3 – 12 : <i>Influence de la teneur en eau et la teneur en chaux sur la masse volumique sèche</i>	46
Fig. 3 – 13 : <i>Influence de temps de cure et la teneur en chaux sur la résistance a la compression</i>	48
Fig. 3 – 14 : <i>Influence de la teneur en bitume sur l'absorption d'eau et la masse volumique sèche</i>	49
Fig. 3 – 15 : <i>Influence de la teneur en bitume sur la résistance a la compression</i>	49
Fig. 3 – 16 : <i>Influence du temps de malaxage sur l'bsorbtion d'eau</i>	50
Fig. 3 – 17 : <i>Influence de la teneur en bitume -séchage en atmosphère sèche sur la résistance a la compression</i>	51

<u>Chapitre IV :</u>	Page
Fig. 4 –01: Diagramme de texture de terre.	54
Fig. 4 –02: Diagramme de plasticité de terre.	54
Fig. 4 –03: Diagramme de compressibilité de terre.	55
Fig. 4 –04: Diagramme de cohésion de terre.	55
Fig. 4 –05 : Test de résistance a la compression de la brique de terre.	63
Fig. 4 –06 : Test de résistance a la traction de la brique de terre.....	64
Fig. 4 –07 : Pénétrromètre de poche.....	66
Fig. 4 –08 : Scléromètre pendulaire.....	66
Fig. 4 –09 : Test de teneur en eau optimale.....	66
Fig. 4 – 10 : Influence du % de ciment Sur la résistance mécanique.....	67
Fig. 4 – 11 : Influence du % de ciment et Le type de terre sur la résistance mécanique.....	67
Fig. 4 – 12 : Influence du temps de malaxage, Le % et le type de stabilisant sur la résistance mécanique.....	67
Fig. 4 – 13 : Influence du temps de retenue,et le type de stabilisant sur la résistance mécanique.....	67
Fig. 4 – 14 : Influence de la teneur en eau optimal sur la résistance relative a la déformation.	69
Fig. 4 – 15:Influence du mode de séchage et la teneur en stabilisant sur la résistance a la compression humide.....	69

Chapitre VI :

Fig. 6-01 : courbe granulométrique des deux terres utilise(terre A,terre B).....	98
Fig. 6-02 : Essai de compressions sur échantillon de terre cubique.....	101
Fig. 6-03 : Variation de la résistance mécanique en fonction de pourcentage de ciment -Terre A-.....	111
Fig. 6-04 : Variation de la résistance mécanique en fonction de pourcentage de ciment -Terre B-.....	111
Fig. 6-05 : Variation de la résistance mécanique en fonction de pourcentage de ciment –éprouvettes cubique-.....	111
Fig. 6-05: Variation de la résistance mécanique en fonction de pourcentage de ciment –éprouvette parallélépipédique-..	111
Fig. 6-06 : Variation des délais de prise en fonction de pourcentage de ciment -Terre A-.	112
Fig. 6-07 : Variation des délais de prise en fonction de pourcentage de ciment -Terre B-.....	112
Fig. 6-08 : Variation de la masse volumique en fonction de pourcentage de ciment -Terre A-.....	112
Fig. 6-09 : Variation de la masse volumique en fonction de pourcentage de ciment -Terre B-.....	112
Fig. 6-10 : Variation de la résistance mécanique en fonction de type de stabilisant -Terre A-.....	113
Fig. 6-11 : Variation de la résistance mécanique en fonction de type de stabilisant -Terre B-.....	113
Fig. 6-12 : Variation des délais de prise en fonction de type de stabilisant -Terre A-.....	113
Fig. 6-13 : Variation des délais de prise en fonction de type de stabilisant –Terre B-.....	113
Fig. 6-14 : Variation de degré d'absorption en fonction de type de stabilisant.....	114
Fig. 6-15 : Variation de profondeur des trous d'érosion en fonction de type de stabilisant.....	114

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre V :

Page

Tab. 5-1 : Pluviométrie maximum matinale à Bou Saada et ces localités	80
Tab. 5-2 : Températures mensuelle moyenne à Bou Saada	81
Tab. 5-3 : Humidité relative (HR %) à Bou Saada.	81
Tab. 5-4 : Précipitation (mm) à Bou Saada.	82

Chapitre VI:

Tab. 6-1 : Compositions chimique des ajouts.	90
Tab.6-2 : Caractéristique chimique –physique de la résine ^{‘’} MEDAPOXY SOL –Elt.B ^{’’}	91
Tab. 6-3 : Différentes appellations des mélanges- terre A.	93
Tab. 6-4 : Différentes appellations des mélanges -terre B.....	93
Tab. 6-5 : Granularité des deux type de terre utilise.	97
Tab. 6-6 : Plasticité des deux type de terre utilise.....	98
Tab. 6-7 : Durée de cure des briques de terre.....	100
Tab. 6-8 : Résultats de test de compression sur éprouvettes cubique –terre A- de M’sila.	101
Tab. 6-9 : Résultats de test de compression sur éprouvettes parallélépipédique –terre A- de M’sila.	102
Tab. 6-10 : Résistance a la pression d’eau – essai d’érosion-.....	102
Tab. 6-11 : Début et fin de prise –terre A- de M’sila.	102
Tab. 6-12 : Degré d’absorption d’eau –terre A- de M’sila.	103
Tab. 6-13 : degré d’absorption d’eau –terre B- de Medjana..	103
Tab. 6-14 : Résultats de test de compression sur éprouvettes cubique –terre B- de Medjana.....	103
Tab. 6-15 : Résultats de test de compression sur éprouvettes parallélépipédique –terre B- de Medjana.....	104
Tab. 6-16 : Résistance a la pression d’eau – essai d’érosion-, –terre B- de Medjana.....	104
Tab. 6-17 : Début et fin de prise –terre B- de Medjana.	104
Tab. 6-18 : Degré d’absorption d’eau –terre B- de Medjana.....	105
Tab. 6-19 : masse volumique apparente et densité sèche –terre B- de Medjana.....	105

Chapitre I : Généralités et historique des constructions en terre.

I-1-Introduction:

La terre est le matériau le plus simple que nous ayons à notre disposition. C'est sans doute le matériau qui a été toujours très utilisé pour construire les murs de nos maisons à travers tous les continents et à toutes les époques. Ce matériau a été très dévalorisé pendant de nombreuses années et l'on se rend compte aujourd'hui que les anciens avaient bien compris plusieurs qualités de la terre pour la fabrication des maisons.

I-2-Diversité de construction en terre:

Construire en terre, c'est construire avec un matériau que l'on foule aux pieds tous les jours. Mais la terre ne peut être employée en construction que si elle offre une bonne cohésion propre, principalement due à la présence d'argile qui joue le rôle de liant naturel. En maintes contrées dont les paysages familiers en sont très souvent richement marqués, l'architecture de terre est véritablement un témoignage vivant de l'histoire et de la culture des peuples. [4]

De la tradition de construire en terre, on dénombre de très nombreux modes de construction avec une infinité de variantes qui traduisent l'identité des lieux et des cultures. On connaît principalement douze modes d'utilisation de la terre en construction. Parmi ceux-ci, sept sont très couramment employés et constituent les genres techniques majeurs. [4]

I-2-1-Adobe:

La brique séchée au soleil est plus communément connue sous le nom d'adobe. Les briques d'adobe sont moulées à partir d'une terre malléable souvent ajoutée de paille. À l'origine, ces briques étaient formées à la main. Plus tard (et encore aujourd'hui), elles seront fabriquées manuellement à l'aide de moules à formes prismatiques variées en bois ou en métal. Actuellement, on emploie également des machines. [4]

I-2-2-Pisé:

La terre est comprimée en masse avec un pilon dans des banches, couche par couche, et banchée par banchée. Traditionnellement, ces outils sont en bois. [4]

I-2-3-Terre-paille:

Pour cette technique, la terre utilisée doit avoir une bonne cohésion. Elle est dispersée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'une barbotine homogène, que l'on verse sur de la paille, jusqu'à enrober chaque brin. Au séchage, on obtient un matériau dont la texture est essentiellement celle de la paille. [4]

I-2-4-Torchis :

Une structure en colombages et claires de bois est hourdée avec une ou plusieurs couches de terre. Cette terre argileuse, amendée de paille ou d'autres fibres, constitue les parois de la bâtisse. [4]

I-2-5-Façonnage:

Cette technique ancienne est toujours fréquemment utilisée. La terre est façonnée de la même façon que pour la poterie, sans outils. [4]

I-2-6-Blocs comprimés :

Pendant longtemps, on a fabriqué des blocs de terre à l'aide de moules dans lesquels on comprimait la terre à l'aide d'un petit pilon ou en rabattant avec force un couvercle très lourd. Ce procédé a été mécanisé et on utilise aujourd'hui des presses de toutes sortes. Les produits obtenus sont extrêmement variés. [4]

I-2-7-Bauge:

Ce procédé consiste à empiler des boules de terre les unes sur les autres et à les tasser légèrement à l'aide des mains ou des pieds jusqu'à confectionner des murs monolithiques. Habituellement, la terre est amendée de fibres de natures diverses. [4]

Aujourd'hui, ce sont les techniques de l'adobe, du pisé et du bloc comprimé qui sont les plus à l'honneur et même abordées à un très haut niveau de recherche scientifique et technologique. On peut regretter que ces trois genres techniques majeurs s'imposent au détriment des autres dont l'intérêt n'a pas été encore épuisé. [4]

I-3-Universalité de la construction en terre crue :

Plus de 30% de la population mondiale, soit près de 1 500 000 000 d'êtres humains, vit dans un habitat en terre. Pour les seuls pays en voie de développement il s'agit de 50 % de la population, en majorité rurale, et au moins 20% de la population urbaine et péri urbaine. Plusieurs auteurs confirment cette hypothèse. On a ainsi constaté que 60 % des habitations du Pérou sont bâties en adobe ou en pisé. ' Kigali, capitale du Rwanda, 38 % des logements son en terre. En Inde, le recensement de 1971 établissait que 72,20 % du parc immobilier est construit en terre 67 millions de maisons où vivent près de 375 millions; de personnes. Sur le continent africain, la plus grand (partie des constructions rurales et même urbaines son en "banco" (Afrique de l'Ouest), en "thobe" (Egypte e régions septentrionales), en "daga" (Sud-est africain ou en "leuh" (Maroc). Cette diversité linguistique bien compréhensible exprime aussi la variété des techniques de construction et une connaissance très affiné (des possibilités techniques qu'offre la terre, maîtrisée: depuis les âges les plus lointains. [4]

L'architecture de terre du continent africain traduit le génie du lieu, du matériau et du bâtisseur. Ce génie architectural de la terre est aussi de mise dans les pays d'Orient. En Iran, creuset de l'ancienne Perse, en Irak, berceau de Sumer, en Afghanistan, au Yémen du Nord et du Sud. Les techniques de la voûte et de la coupole en briques crues furent portées à leur perfection en Iran comme en témoignent de nombreuses cités - Bam, Yazd, Seojane, Tabriz. A Shîbam, Yémen du Sud, ce sont des immeubles en bauge de dix étages ou plus. En Chine, au Henan et au Shânxi, au Gansu, ce ne sont pas moins de dix millions d'habitants qui vivent dans un habitat en terre creusé dans l'épaisseur de la ceinture de Ives. [4]

En France, 15 % de la population, à majorité rurale, occupe des maisons en pisé, en adobe ou en torchis. On connaît aussi le fantastique développement de la construction en adobe

dans le Sud-Ouest des U.S.A. On comptait en 1980 près de 176 000 maisons en terre dans l'ensemble des U.S.A. et 97 % sont situées dans les Etats du Sud-Ouest. [4]

En Californie, la construction en adobe progresse de 30% par an. Au Nouveau-Mexique, en 1981, 48 fabriques d'adobes produisent plus de quatre millions de blocs par an. On pense qu'un nombre équivalent d'adobes est produit par les autos constructrices, chaque année. [4]

Confrontés à la crise de l'énergie et à une crise économique, les pays industrialisés développent un discours sur le renouveau du matériau terre et engagent recherches et applications. Les U.S.A. ont légitimé officiellement l'emploi de l'adobe et du pisé en intégrant ces techniques de construction aux normes nationales et régionales. Des programmes de recherche sur les caractéristiques thermo physiques de la terre exigent un investissement de plusieurs millions de dollars. La France a précisé les voies de la recherche sur le matériau terre qu'il convient de développer en priorité dans les prochaines années: le budget nécessaire à ces recherches prioritaires représente près de 8 millions d'euros dont 83 % pour les seules recherches opérationnelles et pédagogiques. La construction de 64 logements expérimentaux (domaine de la Terre de l'Isle-d'Abeau) confirme l'engagement de ce pays dans une voie opérationnelle.

Des programmes de recherche sont aussi lancés en Suisse, en Belgique; les colloques nationaux ou internationaux se multiplient sans oublier l'apparition d'une formation spécialisée et postuniversitaire destinée aux architectes et techniciens du bâtiment (France). [4]

I-4-Histoire de la construction en terre crue:

L'histoire de la construction en terre est mal connue. L'intérêt pour ce matériau jugé antique et médiocre était éclipsé par celui accordé à la pierre ou au bois, matériaux plus "nobles". C'est pourtant bien la terre qui fut associée aux époques décisives de la révolution urbaine et qui servait la quotidienneté autant que le prestige des plus glorieuses civilisations de l'Antiquité. [4]

Les trouvailles archéologiques de maintes contrées en témoignent. Les strates du temps n'ont pas pu effacer les preuves accumulées, tout juste dissimulées. L'époque actuelle soigne ses vestiges : les ruines sont révélées et relevées, classées, protégées et restaurées. Plus l'on remonte le cours de l'histoire et plus la terre semble être le matériau privilégié de l'homme bâtisseur, des âges les plus lointains jusqu'à nos jours. La construction en terre fut indépendamment développée dans les principaux foyers connus de la civilisation dans les vallées inférieures du Tigre et de l'Euphrate, le long du Nil, sur les rives de l'Inde et du Huanghe. Ces régions fertiles furent propices à l'installation des communautés de chasseurs -collecteurs puis au développement de la révolution agricole. [4]

I-4-1- Europe et méditerranée :

Les plus anciens établissements de L'Europe sont datés du VI^e millénaire. L'habitat primitif des côtes de la Mer Egée, en Thessalie (Argissa, Néa-Nicomédia, Sesclo) est de clayonnage de bois et d'argile puis évolue vers des groupements de constructions carrées en briques crues. Sur le site de Sesclo, les habitations des niveaux supérieurs, en torchis et en briques séchées, sont de plan rectangulaire à un étage (4600 av. J.-C.). Le plan évolue vers le type "mégaron" qui prédominera dans l'architecture grecque. Ce type d'habitat s'étend vers l'intérieur de l'Europe pour être remplacé dans les régions du Nord par des constructions en bois et en terre. C'est l'habitat du faciès culturel danubien qui couvre l'Europe centrale tout au long de l'Age du Bronze (1800-750 av. J.-C.). Les fouilles de Köln Lindenthal (RFA) ont révélé des semis de

cabanes de bois et de terre à quatre nefs parfois longues de 25 mètres pour une largeur de 8 mètres. Dans le monde égéen, sous la pression des envahisseurs doriens, au Bronze final, les fortifications mycéniennes se multiplient. L'appareil cyclopéen de pierre remplace la brique crue réservée à l'habitat protégé dans des acropoles (Tyrinthe). A cette même époque, le contexte insulaire de la Crète favorise le développement harmonieux de la civilisation minoenne. [4]

I-4-2- Orient :

Au Proche-Orient, les fouilles révèlent nombre d'indices sur l'évolution de l'habitat en terre de ces contrées, depuis le Néolithique. Jéricho s'étend sur quatre hectares. Les habitations les plus anciennes (8000 ans av. J.-C.) sont rondes: des soubassements de pierre sont couronnés de murs en briques crues en forme de pains modelés à la main. A Mureybet, en Syrie. Les niveaux supérieurs révèlent des constructions quadrangulaires en briques de terre, joutées en damier. Le site de Tell Hassuna, en Irak méridional, semble confirmer le moulage des premières briques parallélépipédiques. L'époque obeïdienne (5000-3200 av. J.-C.) annonce une architecture de terre monumentale, celle des futures villes- temples de l'époque d'Uruk 3200-2800 av. J.-C.). Les premiers sanctuaires du culte élevés au cours du III^e millénaire (temple d'Eanna à Uruk, temple d'Enki à Eridu) sont en briques bâties à l'état pâteux, sans mortier. A Ur, les maisons en terre sont à cour intérieure à ciel ouvert desservant les pièces d'habitation sur deux niveaux. A Assur et à Mari, l'architecture des palais de la période d'Isin - Larsa (2015-1560 av. J.-C.) exhibe des murailles en briques crues multipliant les redans. [4]

L'architecture de pasagarde (549 av. J.-C.) associe liés colonnes de pierre aux murs de brique crues et établit les principes de la salle hypostyle. A Persépolis, tous les bâtiments disposent de hautes salles à colonnes flanquées de galeries et de vestibules à portiques. Les ruines sont impressionnantes malgré l'effondrement de nombreux fûts de colonnes et des toitures de cèdre, malgré la disparition des murs de briques crues revêtus de placages de pierre polie qui s'élevaient entre les portes massives aux énormes linteaux à gorge égyptienne. Les fortifications des cités achéménides telles celles de Suse sont élevées en terre. L'art de construire des Perses trouvera sa perfection avec la maîtrise des techniques de la voûte et des coupes. Les voûtes sont bâties en tranches de berceaux inclinés et les coupes sont dressées sur trompes ou sur pendentifs. La voûte et la coupole ne furent pas réservées à l'architecture palatiale et se multiplièrent dans la construction civile, traversant toutes les époques jusqu'à l'Iran actuel. Combien de sites fortifiés, de cités abandonnées aux habitations fantômes (place forte de Bam au Sud- Est de l'Iran), de villes actuelles (Tabriz, Seojane, Ispahan) qui témoignent de la vigueur de cette architecture de terre crue persane. [4]

L'apparition de la brique crue en hourdage de structures en bois ou en ouvrages porteurs semble remonter à l'époque de la dynastie des Han (II^e s. av. J.-C.-III^e s. ap. J.-C.). Cette technique est employée dans l'architecture urbaine sous les Han Orientaux (I^{er} III^e s.). La ville chinoise adopte un plan carré divisé en secteurs carrés occupés par des palais et des quartiers résidentiels; les portes de la ville sont percées dans une fortification en terre battue. Beijing conserva une double fortification en terre jusqu'en 1950. Depuis les époques Ming jusqu'à nos jours, l'architecture chinoise perpétue la construction en bois hourdée de torchis ou de bauge et en briques crues. Il semble par ailleurs que les Chinois aient développé la construction en pisé depuis l'époque des Trois Royaumes (221 -581 ap. J.C.). [4]

La terre damée en coffrages ou dans de longs fûts de bois fendus maintenus par des perches fichées dans le sol, permet la réalisation de fermes fortifiées à plusieurs étages, de plan

rectangulaire ou circulaire. Cette tradition est encore observable chez les Hakka du Plateau Central. [4]

I-4-3- Amérique :

Sur le continent américain, la vie nomade des groupes de chasseurs- collecteurs dure plusieurs milliers d'années avant que ne soit expérimentée l'agriculture. C'est en Amérique centrale que la culture du maïs permet la création des premiers villages permanents. En Mésopotamie, c'est au cours de la deuxième moitié de la période Formative (1200 av. J.-C. - 300 ap. J.-C.) que de nombreux foyers de civilisation se dotent d'une organisation complexe autour d'un urbanisme de centre religieux. [4]

Dans le quartier Von Tschudi, les murs d'adobe sont ornés d'une structure en treillis et de reliefs zoomorphes en argile moulée. A l'apogée des Incas (1493-1525), la plupart des cités de montagne (Cuzco, Pisac, Machu Picchu) sont bâties en appareils de blocs cyclopéens mais la terre est employée sur le littoral andin. Dans la vallée du Rio Pisco, la cité de Tambo Colorado est toute de brique crue cubique. [4]

Les murs sont enduits d'argile vivement colorée de rouge ou de jaune. La grande majorité de l'habitat rural fut sans doute de terre, jusqu'aux maisons des "curaca" (chefs de village) et des "tucricuc" (administrateurs). Dans la vallée du Rimac, de riches demeures en adobe et en tchia (pisé) ont été récemment restaurées. Aujourd'hui, en Amérique centrale comme en Amérique latine, l'adobe et le tchia demeurent les matériaux dominants. [4]

I-4-4- Afrique:

Le rôle joué par le continent africain dans l'évolution humaine fut considérable. C'est en Afrique que l'on situe l'apparition même de l'homme (Rift Valley, gorg(d'Olduvai). C'est aussi en Afrique que s'est épanouie civilisation égyptienne durant près de trois millénaires aux premiers établissements humains des sites d'Merimé et du Fayoum (delta du Nil), datés du V^e millénaire av. J.-C. Correspond un habitat de clayonnages de roseaux et de branchages enduits d'argile remplis de mottes de terre. La civilisation se développe avec l'Egypte dynastique (2900 av. J.-C.). La vallée du Nil fournit le principal matériau de construction : le limon argileux mêlé au sable du désert limitrophe ajouté de paille des céréales cultivées. Le matériau est modelé puis moulé en briques crues qui sèchent sous le soleil. Les premiers mastabas funéraires royaux des hauts fonctionnaires sont en briques de boue. Leurs murs extérieurs sont à redans, peut-être l'imitation des ouvrages mésopotamiens. Les fouilles de Saqqarah et d'Abydos confirment une évolution vers des murs de briques talutés puis revêtus de pierres. La terre n'est pas éclipsée par la pierre "matériau d'éternité", dont l'emploi est inauguré par la construction du sanctuaire de Saqqarah, bâti en calcaire par Imhotep. Mais la terre sera de plus en plus réservée à l'architecture civile, maisons rurales mais aussi demeures des nobles et vastes cités des plus grands rois. Les travaux de J-P. Lauer montrent que l'enceinte de pierre de Saqqarah imite les techniques et les formes de l'architecture traditionnelle en brique: crues et en clayonnage de bois et d'argile. La terre est éternisée par la pierre. Le décor écrit ou peint des monuments funéraires confirme l'emploi de la brique crue jusqu'aux époques les plus récentes de la civilisation égyptienne. Mais les traces archéologiques sont rares car le matériau a mal résisté au temps. Les principaux vestiges sont légués par le site de Tell el Amarna, en Moyenne Egypte et par la nécropole de Thèbes. Ce sont

aussi les petites "maisons de l'âme" en poterie, trouvées dans les tombes qui témoignera de l'habitat populaire. [4]

I-4-5- Algérie:

L'Algérie se situe dans une zone à haute potentialité solaire, et présente près de 90 % de terres aride et semi-aride, de ce fait il est important de s'intéresser à la situation actuelle des villes sahariennes. Il se trouve que de nos jours, l'espace Oasisien qui représente les fondements de toutes les villes sahariennes et qui représente l'espace nécessaire par excellence est en dislocation et n'arrête pas de subir les effets destructeurs du paysage de la part de l'urbanisation dite moderne. Hier les cités du désert n'ont pas cessé de subir des modèles exogènes, coloniaux, puis post coloniaux, qui ne parviennent ni à s'habituer au milieu naturel, ni à s'inscrire dans la logique d'implantation des Ksours. [15]

Ainsi, ces sociétés du désert en quête de développement et de modernisation se trouvent déchirées entre des modèles différents et contradictoires, ce qui se traduit par des phénomènes d'adoption, de transformation très visible particulièrement sur l'habitat. De par sa situation au cotée nord du Sahara africaine, son climat, sa géographie, son paysage, son histoire et son patrimoine architectural, les ville du sud algérien vue sont architecture bioclimatique fondée sur des matériaux de construction traditionnelles locaux tel que la brique de terre séchée présente une très belle vue architecturale. [15]

Toutes les villes du désert, abordent les mêmes mutations culturelles qui se projettent directement sur l'image de la ville et les différentes structures urbaines. En effet plusieurs villes du sud algérien présente trois formes claires avec des niveaux de relations différentes : *Le Ksar, le village colonial et les opérations post-coloniales*. [15]

I-4-5-1- Le Ksar :

Tissu traditionnel dense et compact, apparaît dans sa forme actuelle suivant un axe "structurant" qui délimite la palmeraie d'un bâti. Ce tissu démontre la volonté de créer une unité adaptée aux besoins d'une société dans un climat apprivoisé avec le temps. Ceci se traduit par des itinéraires fortement hiérarchisés et des symboliques expriment un savoir-faire bien ancien. [15]

I-4-5-2- Le village colonial :

Fruit du génie militaire, présente un tissu constitué d'une trame infrastructurelle régie par un tracé orthogonal, implanté sur les hauteurs du Ksar matérialisant ainsi une ligne de démarcation entre les deux systèmes urbains. Cette ligne ne constitue pas pour autant une limite infranchissable entre le ksar et le village, mais un axe ponctué par des équipements marquants l'imposition militaire. [15]

L'îlot apparaît comme une unité définie, délimitée par des voies qui ne se différencient ni par leurs largeurs, ni par leurs fonctions constituant ainsi un paysage urbain répété ne présentant aucun degré de hiérarchie. [15]

Il est important de dire qu'à priori le souci climatique n'apparaît pas comme élément essentiel dans la manière de projeter et ce à travers le surdimensionnement des voies par rapport au bâti. [15]

I-4-5-3- Le post – colonial :

Constitué d'opérations de promotion immobilière de plan type, produit d'une idéologie de l'urbanisme moderniste dans le but d'assurer l'extension des villes sahariennes, ces interventions à faible densité, sans aucune logique d'implantation ne présente aucune prise en charge de l'espace extérieur et d'articulation par rapport à l'existant. [15]

I-5-Problématique:

L'importante croissance des activités économiques et sociales des populations s'est faite jusqu'à ce jour au détriment du milieu naturel et de l'environnement, alors la question de l'environnement jouant en fait un rôle structurant de première importance a été totalement occultée. C'est pourquoi depuis quelques années une certaine conscience est née cherchant à rapprocher l'homme avec son environnement pour s'orienter vers un développement écologique durable renvoyant à une utilisation raisonnable des ressources existantes, en minimisant le maximum possible l'énergie pour préserver l'avenir des générations futures.

De ce fait et concernant notre choix de ce sujet plusieurs questions se posent :

Pourquoi la brique de terre ? Que peuvent apporter ce type de matériaux plus à l'économie et à l'environnement? Est-ce que les caractéristiques du matériau brut répondent aux exigences et au développement mondial des matériaux de construction ? Quels sont les avantages et les inconvénients de ce matériau de construction ?

Répondre à toutes ces questions est difficile. En général, toute terre qui offre de bonnes caractéristiques peut être employée en construction, mais il convient de bien s'assurer que l'on dispose de tous les moyens pour l'utiliser afin de nous porter des avantages comme produit de construction. Allons vers l'utilisation de ce type de matériau de construction en ce moment n'est pas hasard, tout en examinant cette envie de plusieurs angles, point de vue environnemental, économique et social.

Actuellement l'industrie de fabrication de la brique de terre cuite pose plusieurs problèmes économiques et environnementaux, les usines qui produisent les matériaux de construction à base de produit terre, soit brique pleine de décoration ou brique de terre cuite, ont besoin d'une grande consommation énergétique, ce qui influe sur l'environnement et l'économie au même temps, alors la facture énergétique et la protection du milieu relance un débat, qui nous pousse à faire des recherches et des applications sur l'un des principaux matériaux des constructions en terre.

Pour effectuer notre objectif, les méthodes analytiques et expérimentales sont à notre sens les méthodes adéquates qui nous permettra de décortiquer les composantes de ce sujet, comprendre les causes qui font la résistance de ces bâtisses dans le temps, ses réactions face aux conditions climatiques et surtout son expression sociale à travers les architectures adoptées.

Notre contribution à ce thème se soldera par des interventions différentes selon plusieurs paramètres qui peuvent influe sur la durabilité de la brique de terre séchée, donc notre intervention vise la possibilité d'améliorer ses différentes caractéristiques et de le rendre durable. Pour cela la démarche à suivre se définira par la lecture approfondie du sujet, ensuite par une tentative de perfectionnement de la durabilité par l'amélioration des propriétés physico mécanique de ce matériau à l'aide des procédés mécanique et physicochimique à la fois.

Une bonne maîtrise des techniques d'identification des terres orientera les choix en matière de stabilisation. De ce fait, il est important de rappeler que pour avoir un matériau durable l'utilisation de stabilisants est indispensable afin d'améliorer sa cohésion par changement des propriétés initiales des composantes -terre eau air-.

Chapitre II : Revue générale sur le matériau terre- un matériau de construction-

II-1- Introduction:

Dans ce chapitre, on présente une revue générale sur les matériaux terre leurs structures et textures, ainsi que leurs caractéristiques, classification et les différentes Procédure d'identification.

II-2 –Processus d'altération:

II-2-1 Altération de la roche mère:

Sur une roche mère dénudée par l'érosion, les facteurs climatiques - soleil, pluie, froid et vent agissent. La roche mère qui peut être dure (granite, schiste, grès...). Tendre (craie, marne, argile...) ou meuble (sables, éboulis, ...) est fissurée, réduite en éléments plus fins; elle est désagrégée. Ensuite, les facteurs climatiques opèrent une altération chimique. Le résultat de ce processus est un mélange d'éléments des minéraux plus ou moins désagrégés et non encore altérés : blocs de pierre, graviers, sables et limon pulvérulent; une sorte de pâte ou "complexe d'altération" résultant de l'altération chimique des minéraux pâte d'argile colorée par des oxydes de fer, sels plus ou moins solubles de Ca, Mg, K, Na, etc. [1]

II-2-2 – Processus poursuite de l'altération par les matières organiques:

Le sol désagrégé et altéré, constitué de minéraux et d'éléments plus ou moins pâteux est alors colonisé par une flore et une faune qui l'enrichissent en substances chimiques et organiques, dont l'humus. L'humus a des propriétés différentes selon la nature du climat, de la roche mère et de la végétation ; il continue, avec les Agents climatiques, à altérer les minéraux du sol. Le nouveau sol, non évolué, a un profil homogène et précise ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. [1]

II-2-3 - Processus migrations verticales des éléments solubles:

Sous climat pluvieux, les éléments solubles migrent vers le bas : c'est le lessivage. Sous climat sec à forte évaporation, les éléments solubles migrent vers la surface et l'enrichissent Cette migration des éléments, accélérée ou freinée par le climat, par la perméabilité du sol et par le type d'humus formé, va créer dans le sol des couches plus ou moins distinctes et définir les horizons, qui constituent le profil pédologique d'un sol. (La pédologie est la science qui étudie les caractères physiques, chimiques et biologiques des sols).

On rencontre deux grands types de sols : les sols jeunes ou "peu évolués", peu profonds et peu différenciés de la roche mère, souvent constitués d'un seul horizon et les sols "évolués", profonds, caractérisés par une succession d'horizons lessivés et enrichis.

Mais la genèse d'un sol reste principalement tributaire de la nature de la roche mère, du climat, de la végétation et de la topographie. [1]

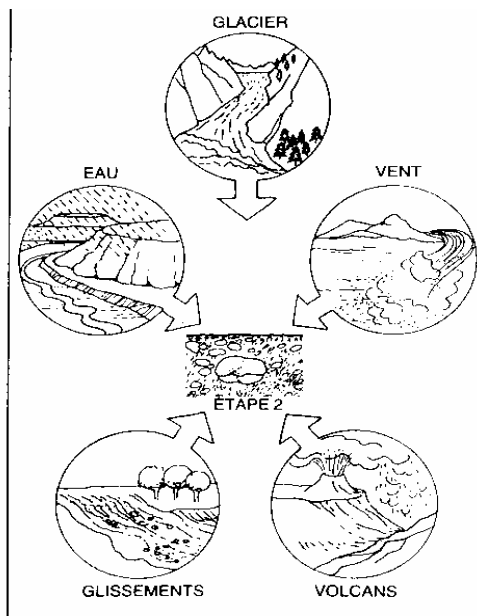
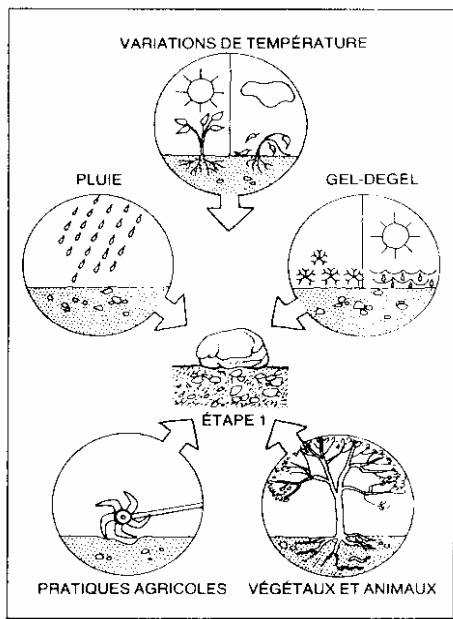


Fig.2-1 : Altération de la roche mère **Fig.2-2 :** Processus poursuite de l'altération par les matières organiques

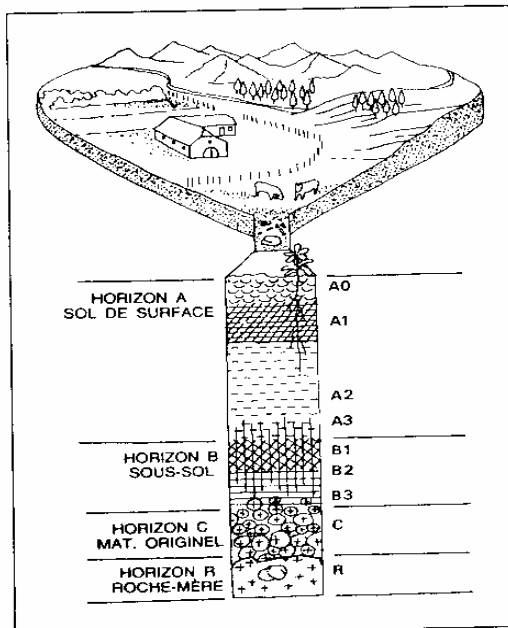
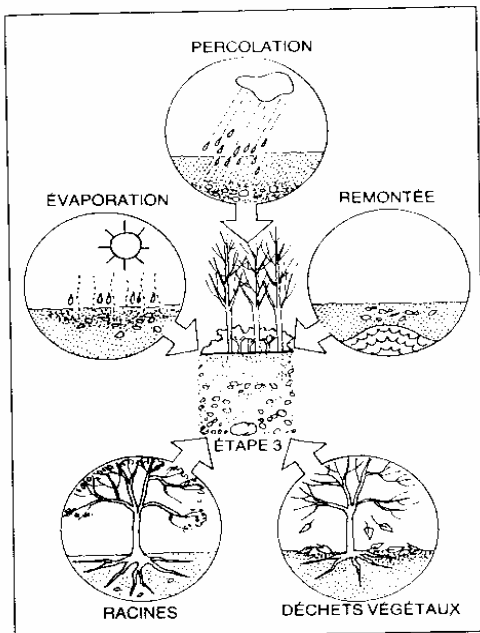


Fig.2-3 : Processus migrations verticales des éléments solubles

Fig.2-4 : Horizons principaux- les différentes couches du sol-

II-3 Horizons principaux:

Une coupe pratiquée dans le terrain permet d'observer les différentes couches du sol (*voir fig.2-4*) :

AO ...Couche organique peu décomposée recouvrant le sol minéral (plus de 30 % de matières organiques),

A1 ...Horizon mixte, mélange de matières organiques (- 30 %) et minérales.

A2... Horizon dit "éluvial", pauvre en matières organiques, souvent lessivé en argiles et oxydes de fer, décoloré.

A3 ...Transition entre les zones éluviales et illuviales, début d'accumulation des colloïdes.

B1... Couche ferreuse contenant de la matière organique et des oxydes de fer et d'aluminium (sesquioxydes).

B2 ...Horizon dit "illuvial", enrichi en argiles accumulées et en oxydes de fer.

B3...Couche de transition entre B et C.

C ... Matériau original.

R... Roche mère non altérée.

De nombreuses sous-classifications expriment des situations particulières. L'observation des horizons permettra une classification pédologique des terres en tenant compte de l'intégralité du profil du sol.

II-3-1 Nature de la terre :

Le matériau terre est constitué de plusieurs éléments :

Les constituants gazeux : principalement de l'air;

Les constituants liquides : principalement de l'eau ;

Les constituants solides : la matière minérale et matière organique.

Les proportions respectives et la répartition de ces constituants caractérisent la structure et la texture de la terre qui précise les propriétés. [4]

II-4 structures :

Les constituants de la terre sont plus ou moins disposés, entamés ou liaisonnés. Le mode d'assemblage des constituants solides, à un moment donné, définit la structure d'une terre dont vont dépendre la circulation de l'eau et de l'air et les autres propriétés physiques. On distingue trois principaux types de structures :

II-4-1 -Structure particulaire : de type graveleux, très faible liaison par l'argile entre les éléments inertes.

II-4-2-Structure fragmentaire : de type grumeleux; liaison par l'argile en paquets graveleux qui sont liés entre eux.

II-4-3-Structure continue: de type poudingue ; les éléments inertes sont pris dans une masse d'argile de limon. [4]

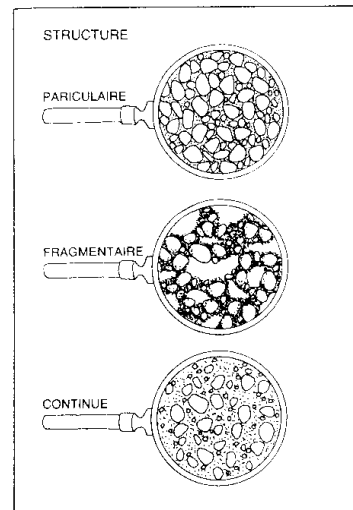


Fig.2-5 : Nature de la terre.

II-5 La texture:

C'est la composition granulaire d'une terre. La texture influe sur les propriétés car chaque fraction de grains a des caractéristiques propres qui peuvent définir celles de la terre si celle-ci en contient en quantité suffisante. 10% d'argile suffisent à donner une propriété de cohésion et de plasticité à la terre. 40 à 50 % de fines argileuses donnent une terre qui a les propriétés d'une argile. On distingue cinq grands types de textures:

- ✓ Terre organique: la tourbe, par exemple.
- ✓ Terre graveleuse: prédominance de graviers et cailloux; apparence d'un béton.
- ✓ Terre sableuse: prédominance de sables; apparence d'un mortier.
- ✓ Terre silteuse : prédominance -de limon; terre fine peu cohésive et d'aspect soyeux.
- ✓ Terre argileuse: prédominance d'argile ; terre très cohésive, collante et modelable à l'état humide. [4]

II-6-Matières organiques et minérales :

II-6-1-Matières organiques:

Pour des conditions normales, les matières organiques sont concentrées dans l'horizon de surface des sols, sur une épaisseur de l'ordre de 5 à 35 cm. Parfois, les matières organiques peuvent contenir des composants végétaux visibles. D'autres fois, la décomposition de la structure végétale originelle est si avancée que l'on se trouve en présence d'un matériau de couleur noire l'humus. [5]

Les matières organiques récemment décomposées ont des caractéristiques différentes de l'humus: elles consistent en macro particules ou fibres relativement inertes du point de vue physique ou chimique. L'humus est de nature colloïdale et acide, doté d'une forte capacité d'échange basique (ions) et d'absorption de l'eau qui augmente son volume. [5]

Les matières organiques ont une structure ouverte et spongieuse et sont dotées d'une faible résistance mécanique. La teneur en eau peut être très élevée (de 100 à 500 %) supprimant toute stabilité mécanique. La nature acide des composants organiques tend à provoquer des réactions acides avec l'eau du sol qui peuvent avoir des effets corrosifs sur les matériaux en contact. La concentration et le type de matières organiques affectent fortement les caractéristiques d'une terre naturelle au-dessus de teneurs en eau de l'ordre de 2 à 4 %. [5]

II-6-2-Matières minérales:

Les composants minéraux d'un sol, ou non organiques, constituent généralement la plus grande partie d'un sol.

On distingue deux groupes de minéraux :

II-6-2-1- Les minéraux inaltérés : ou incomplètement altérés: ils sont de composition identique à la roche mère dont ils sont issus; ce sont les cailloux et graviers, les sables et les silts.

II-6-2-2- Les minéraux altérés: ils résultent d'une altération chimique des minéraux de la roche mère et sont marqués par une réduction extrême de leur taille (moins de 2, μ). De par leur finesse, ces particules minérales altérées ont la forme d'une pâte collante si elles sont humidifiées. On leur a donné le nom de colloïde, "sorte de colle", car elles forment le liant de la terre. Les principaux colloïdes sont les argiles et c'est pour cette raison que l'on parle plus souvent en géotechnique de la fraction argileuse plutôt que de la fraction colloïdale.

a -Eléments sableux: Ils peuvent être siliceux, silicates ou calcaires.

b-Les éléments siliceux: ils résistent à l'altération chimique. Ce sont des grains de quartz issus de la désagrégation des grès et des roches cristallines. On les rencontre aussi bien dans les fractions grossières que fines. [5]

c- Les éléments silicates : leur altération chimique est continue mais très lente. Ils sont formés de grains de mica, de feldspath et d'autres minéraux libérés par la désagrégation des roches cristallines: granite, roches volcaniques. L'altération de ces éléments est d'autant plus efficace qu'ils sont fins. [5]

d-Les éléments calcaires : c'est la fraction des éléments sableux constitués de carbonate de calcium. Il faut bien distinguer les terres formées sur une roche mère calcaire des terres formées sur une roche mère non calcaire. Le calcaire n'est pas toujours présent dans le sol mais tous les sols contiennent du calcium fixé sur les argiles en ions calciques ou en solution du sol sous forme de sels solubles de calcium. Pour faciliter leur identification, les composants minéraux ont été divisés en fractions granulaires qui sont situées entre des limites dont la définition est arbitraire : [5]

✓ Cailloux:

Leur taille se situe entre 200 mm et 20 mm. Il s'agit d'un matériau grossier résultant de la désagrégation de la roche mère dont ils héritent des caractéristiques fondamentales. Ils peuvent être également issus d'un matériau d'apport. Les cailloux jeunes ont des formes angulaires. Les cailloux fortement désagrégés ont des formes arrondies ainsi que ceux qui ont été transportés par les cours d'eau ou les glaciers. [5]

✓ Graviers:

Leur taille se situe entre 20 mm et 2 mm. Ce sont des particules de matériau grossier, de petite taille, résultant de la désagrégation de la roche mère et des cailloux. Ils peuvent également avoir été apportés par les cours d'eau et présentent alors des formes rondes. Mais ils peuvent aussi être anguleux. Les graviers constituent le squelette de la terre et limitent sa capillarité et son retrait. [5]

✓ Sables:

Leur taille se situe entre 2 mm et 0,06 mm. Ils sont souvent composés de particules de silice ou de quartz. Certains sables de plage contiennent du carbonate de calcium (fragments de coquillages). Les sables glaciaires contiennent des minéraux rocheux pulvérisés. La fraction sableuse d'un sol est caractérisée par sa grande friction interne. Les particules sableuses manquent de cohésion du fait de la faible influence des films d'eau au voisinage de leur surface dont l'absorption très réduite limite le gonflement et le retrait. Les sables sont caractérisés par leur structure ouverte et leur perméabilité. [5]

✓ Silt:

La taille des particules de silt se situe entre 0,06 mm et 0,002 mm. Du point de vue physique et chimique, la fraction silteuse est presque identique à la fraction sableuse avec pour seule différence l'écart de taille. La contribution du silt à la stabilité d'une terre est due à sa friction interne. Les films d'eau inter particules confèrent un certain degré de cohésion aux terres silteuses. Du fait de leur perméabilité élevée, les terres silteuses sont très sensibles au gel. Le gonflement et le retrait sont notoires à petite échelle. [5]

✓ Argiles:

La taille des particules d'argile est inférieure à 0,002 mm. Les particules d'argile diffèrent de celles des autres fractions de la terre par leur constitution chimique et leurs propriétés physiques. Chimiquement, ce sont des aluminosilicates hydratés formés au cours du processus de lessivage des particules grossières de minéraux rocheux primaires. Physiquement, les argiles sont très souvent de forme plate et allongée, lamellaire. Leur surface spécifique est infiniment plus grande que celle des particules grossières de forme sphérique ou anguleuse. Les argiles sont notoirement sujettes au gonflement et au retrait. [5]

✓ Colloïdes:

Les éléments sableux sont souvent enrobés dans une sorte de pâte collante qui les réunit en agrégats. Cette pâte collante est constituée de "colloïdes", dont les dimensions sont inférieures à 2μ . Parmi ceux-ci, certains proviennent de l'altération de la roche mère. Ce sont les colloïdes minéraux, dont le principal est l'argile. L'argile n'est pas le seul colloïde minéral. Elle est souvent mélangée à des particules de quartz très fines (1 à 2μ), à de la silice plus ou moins hydratée, à des cristaux de calcaire très fins et des colloïdes magnésiens et à des oxydes de fer et d'alumine colloïdaux appelés sesquioxydes (ses qui signifie: un demi de plus. En effet, dans le Fe_2O_3 chaque Fe a un demi O de plus que dans FeO). D'autres colloïdes proviennent de la décomposition des matières organiques. Ce sont les colloïdes organiques: l'humus et les colles bactériennes. [5]

II-6-2-3-Origine:

C'est l'altération chimique des roches et plus exactement des minéraux silicates (feldspath, micas, amphibole, pyroxène...) qui est à l'origine des argiles. [5]

II-6-2-4-Structure

Les grosses molécules d'argile (ou micelles) sont de fins cristaux de forme irrégulière ou hexagonale. Cette dernière forme est la plus banale mais il en existe d'autres: des plaquettes/hexagonales ou pseudo hexagonales, des fibres cylindriques ou tubulaires creuses, des tablettes épaisses ou des disques. Les micelles d'argile sont constituées de feuillets, d'où le nom de phyllithe donné aux minéraux argileux; comme les micas, ils font partie du groupe des phyllo silicates. [5]

Chaque micelle est composée de plusieurs dizaines ou centaines de feuillets dont la structure détermine celle des minéraux ainsi que les propriétés proches de celles du cristal, entre autres les propriétés absorbantes analogues à celles des colloïdes. Ces feuillets ont une constitution chimique qui varie selon le type d'argile et l'état d'hydratation ainsi que leur épaisseur et leur écartement: de 7 à 20 Angstrom (1 A = 1 millionième de mm). Leur dimension s'étage de 0,01 à 1 micron. Certains feuillets sont constitués de silice (atomes de silicium entourés d'atomes d'oxygène), d'autres d'alumine (atomes d'aluminium entourés d'atomes d'oxygène et de groupements OH). [5]

II-6-3-Forces électrostatiques

Les micelles d'argile ne sont pas électriquement neutres ; elles peuvent être chargées négativement ou positivement.

II-6-3-1-Les charges négatives : elles ont une double origine:

Les valences non satisfaites, soit à l'extrémité des feuillets brisés (atome d'oxygène), soit sur les surfaces extérieures plates par la dissociation d'un ion H' d'un groupement OH- (feuillelet de kaolinite).

Les substitutions: les atomes Si et Al peuvent être remplacés par des atomes de valence plus faible: par exemple, dans un feuillelet de silice, des atomes Si -sont remplacés par des atomes Al-•- de valence plus faible; il apparaît une charge négative non compensée d'un atome d'oxygène. De même, dans un feuillelet d'alumine, un atome Al- peut être remplacé par un atome Mg--.

II-6-3-1- Les charges positives : moins nombreuses que les charges négatives, elles peuvent. Apparaître soit aux points de rupture des feuillets, si la rupture met à nu un atome de silice ou d'alumine dont l'une des charges positives n'est plus équilibrée par un atome d'oxygène ou un groupement OH-, soit par suite de l'association fréquente entre l'article et les hydroxydes de Fe ou de Al libérant par dissociation des ions OH-. [5]

Il peut s'établir entre les micelles d'argile des liens surface -côté, du fait de forces attractives. Mais ce peut être également un lien surface-surface à charge négative ou un lien côté-côté. La théorie de la floculation (inverse de la dispersion) explique ces phénomènes: l'eau du sol est un agent de liaison. Elle est chargée d'ions positifs, ou cations (Na', Ca-, Al ••) assez nombreux pour équilibrer les charges négatives des particules: le système est électriquement neutre. Selon leur hydratation, les cations donnent naissance à des chaînes de molécules d'eau orientées. Quand un cation hydraté est proche d'une particule, les deux ensembles de chaînes de molécules d'eau relient l'ion et la surface de la particule. De même, un ion peut agir comme un pont entre deux particules d'argile adjacentes. [5]

II-6-4- Forces électromagnétiques :

Ce sont les forces Van der Waals. Peu importantes, elles jouent néanmoins un rôle non négligeable dans le mécanisme de liaison des micelles d'argile et des grains inertes; elles créent un film de micelles orientées, augmentant ainsi la friction. Les forces Van der Waals intéressent surtout les micelles de taille normale mais semblent aussi jouer un rôle dans la cohésion des micelles plus petites. [5]

II-6-5- Autres forces

Les liaisons entre micelles d'argile, entre argiles et grains inertes, et entre grains inertes impliquent également d'autres forces. On relève l'importance de la cimentation, de la capillarité et des forces électromagnétiques. [5]

II-6-5-1- La cimentation :

Elle résulte des cycles de précipitation et de dissolution et se traduit par la création de "ponts" liant entre elles des particules similaires ou de nature différente.

Les principaux agents de cimentation sont la calcite, la silice, l'oxyde ferrique, les colles bactériennes, etc. [5]

II-6-5-2- La capillarité :

Bien qu'analogue à la cimentation, la liaison capillaire n'est pas aussi rigide et demeure réversible. Quand un fluide imprègne une particule, il pénètre plus favorablement par les canaux capillaires. Une forte traction peut être nécessaire pour séparer les particules liées par capillarité. Outre les forces d'attraction résultant des tensions d'interfaces, l'eau peut agir comme agent de transmission de forces entre les particules ou comme agent diélectrique. Les puissantes forces de retrait dues à l'action capillaire peuvent renforcer l'action de forces moins puissantes et réduire la distance inter particulaire. Les forces capillaires cohésives intéressent surtout les grains inertes et non les micelles d'argile. [5]

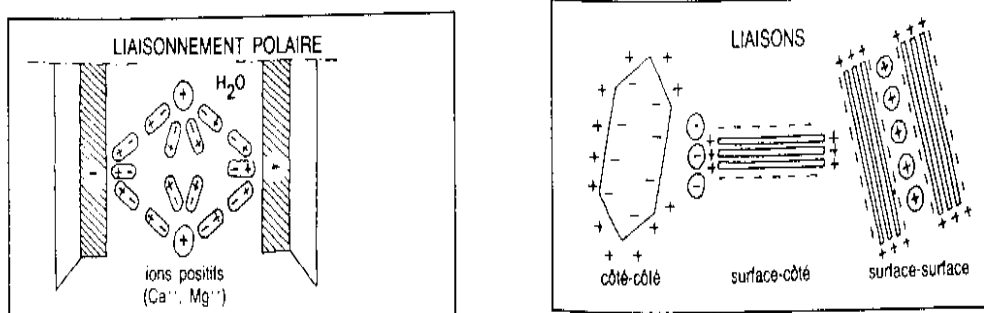


Fig. 2 – 6 : Forces électrostatiques.

II-7 Propriétés et classifications:

II-7-1 Propriétés générale :

D'une terre à une autre terre, les propriétés peuvent être très variables. Elles dépendent de la nature du mélange complexe entre les différentes fractions granulaires. Selon la quantité de cailloux, de graviers, de sables, de silts, d'argiles, de colloïdes, de matières organiques, d'eau et de gaz, les propriétés de la terre sont changeantes. C'est souvent la fraction dominante d'une terre qui régit les propriétés fondamentales du matériau. [6]

II-7-1-1-Propriétés à caractère chimique:

Elles dépendent de la constitution chimique des composants de la terre. Parmi les éléments, les plus influents du point de vue chimique sont notamment les sels, qu'ils soient solubles ou insolubles. La salinité élevée d'une terre peut induire des propriétés chimiques très marquées. [6]

Ces propriétés sont également tributaires de la nature minéralogique des minéraux et de leur chimie constitutive, de la nature et de la quantité des matières organiques: ces composants instables, en cours d'évolution chimique et biochimique, peuvent faire évoluer la structure même de la terre en produisant des précipités de différente nature, des colloïdes et des sortes de pâtes collantes humifères et bactériennes. De même, la quantité en oxydes de fer, de magnésium ou de calcium, en carbonates et en sulfates peut caractériser la terre d'un point de vue chimique. Le sulfate de calcium, particulièrement gonflant à l'hydratation peut être très néfaste ; sa solubilité dans l'eau (eau sélitineuse) peut augmenter la sensibilité des argiles. Les oxydes métalliques peuvent être très influents. Par exemple, dans une terre latéritique, l'oxyde de fer peut accélérer certains procédés de solidification. De même, une abondance d'oxyde d'aluminium peut réduire la résistance avec l'âge. A noter aussi l'importance de la mesure du pH d'une terre qui précise la concentration d'ions H- ou OH-, et sa nature acide ou basique. [6]

II-7-1-2-Propriétés à caractère physique

Elles sont nombreuses et permettent de préciser la qualité d'une terre pour la construction.

- ✓ **Couleur:** le spectre de couleur des terres est très large et peut aller du blanc au noir en passant par le beige, l'ocre jaune ou rouge, l'orangé, le rouge, le brun, le gris et même le bleu et le vert. [6]
- ✓ **Ameublissement:** c'est l'aptitude d'une terre à être facilement brisée. Les terres à fraction sableuse dominante se brisent facilement alors que les terres très argileuses s'ameublissent très difficilement. [6]
- ✓ **Stabilité structurale:** c'est la solidité de la structure de la terre qui précise sa résistance aux agents de dégradation. [6]
- ✓ **Adhérence:** c'est l'aptitude d'une terre, pour un certain degré d'humidité, à adhérer aux objets, notamment aux outils. Elle augmente avec l'humidité jusqu'à un maximum pour ensuite diminuer. [6]
- ✓ **Masse volumique apparente:** elle concerne la terre dans son ensemble et s'exprime en kg/m.
- ✓ **Masse volumique spécifique:** c'est la densité des constituants de la terre. Elle s'exprime en kg/m³ -, par exemple, les micas et les feldspaths ont une densité spécifique de 2600 à 2700 kg/m³, les sables de 2600 à 3000 kg/m³, les argiles, de 2500 kg/m³. [6]
- ✓ **Teneur en eau:** c'est la quantité d'eau contenue dans la terre, soit à l'état naturel, soit après manipulation et séchage. Elle s'exprime en % pondéral et définit les différents états hydriques de la terre. Il s'agit d'eau que l'on peut éliminer par évaporation. [6]

- ✓ Porosité: ou indice des vides; c'est le volume des vides de la terre exprimé en % du volume total. Il y a une relation entre la porosité et la densité spécifique; par exemple, pour un limon de densité spécifique de 1600 à 1800 kg/m, la porosité est inférieure à 40%. [6]
- ✓ Pouvoir absorbant: c'est la propriété que possèdent l'argile, l'humus et le complexe argilo humique de retenir à leur surface des ions électropositifs surtout, mais également électronégatifs, provenant de la solution de la terre. La fixation des ions s'explique par les charges négatives et positives entourant les feuillets d'argile et les micelles d'humus. Pour 100 g, le nombre de charges positives qui peuvent être absorbées par la kaolinite est de 20 à 90 x 10²⁰, de 120 à 240 x 10²⁰ pour l'illite et de 360 à 500 x 10²⁰ pour les montmorillonites. [6]
- ✓ Potentiel capillaire: où pF qui mesure la force de succion de l'eau par la terre et qui s'exprime en g/cm³ ou en atmosphères. pF est le logarithme décimal de cette pression. Plus le sol est humide plus la succion est élevée et moins l'eau est retenue dans la terre. Plus la terre est sèche plus la succion augmente. [6]
- ✓ Diffusion capillaire: c'est le déplacement de l'eau retenue dans la terre.
- ✓ Perméabilité: c'est la vitesse de percolation qui dépend de la texture mais surtout de la structure. Elle s'exprime en cm/heure; par exemple, un limon argileux peu perméable donne une mesure de 0,6 cm/h et une terre sableuse très perméable de 50 à 60 cm/heure (terres non remaniées). [6]
- ✓ Chaleur spécifique : c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de masse de la terre de 1 ° C. Elle s'exprime en kcal / kg° C ; par exemple l'eau a une chaleur de 1 kcal/kg°C, le sable de 0,191, l'argile de 0,23.
- ✓ Surface spécifique : c'est une mesure qui s'applique surtout aux argiles et qui permet d'apprécier l'activité chimique d'échange d'ions. Elle s'exprime en cm²/gramme; par exemple, les gros sables ont une surface spécifique de 23 cm²/g, les limons de 454 cm²/g et les argiles jusqu'à 800 m²/g.
- ✓ Résistance sèche: la résistance à la rupture transversale à l'état sec peut atteindre des valeurs très variables selon les argiles et dépend de la distribution et de la taille des particules, de leur perfection et de leur cristallinité mais aussi de la nature des ions échangeables. Les kaolinites ont une résistance de l'ordre de 0,7 à 50 bars, les illites de 15 à 70 bars et les montmorillonites de 20 à 60 bars. [6]

II-7-2 Propriétés fondamentales:

II-7-2-1 Définitions:

L'étude exhaustive des propriétés de la terre n'est pas toujours nécessaire. Il convient surtout de connaître quelques propriétés fondamentales qui sont: *Granularité, Plasticité, Compressibilité et Cohésion*. [3]

II-7-2-2 – Granularité:

Encore nommée texture d'une terre, elle représente la teneur centésimale en fractions de grains différents mesurées en pourcentages. La texture d'une terre se mesure par analyse granulométrique pour les fractions de grains grossiers: cailloux, graviers, sables et limons et par sédimentométrie pour les fines argileuses. La classification des fractions de grains adoptée par un grand nombre de laboratoires et référents aux normes (A.S.T.M., AFNOR) est la suivante:

> V : CAILLOUX: 200 mm - 20 mm

V : GRAVIERS: 20 mm - 2 mm

IV: SABLES GROSSIERS: 2 mm - 0,2 mm

III: SABLES FINS: 0,2 mm - 0,06 mm

II: SILTS : 0,06 mm - 0,02 mm

IIA: SILTS FINS: 0,02 mm - 0,002 mm

I: ARGILES : 0,002 mm - 0 MM

La représentation de la granularité d'une terre est une courbe granulométrique portée sur le diagramme "G". [3]

II-7-2-3 – Plasticité:

La plasticité définit la propriété de la terre à subir des déformations sans réaction élastique notable caractérisée par une fissuration ou une pulvérisation.

La plasticité d'une terre ainsi que les limites entre différents états de consistance sont déterminées par les mesures des limites d'Atterberg. Elles s'effectuent sur la fraction "mortier fin" de la terre (0 des particules < 0,4 mm). La quantité d'eau, exprimée en pourcentage, qui correspond à la limite de transition entre l'état de consistance fluide et l'état plastique est nommée Limite de liquidité (LI). Entre l'état plastique et l'état solide, la transition est nommée Limite de plasticité (Lp). Au LI, le sol commence à manifester une certaine résistance au cisaillement. A Lp, la terre cesse d'être plastique et devient cassante. [3]

L'Indice de plasticité (I_p) égal à $LI - Lp$ précise la plage de comportement plastique de la terre.

La combinaison de LI et de Lp précise la sensibilité de la terre aux variations d'humidité. Les propriétés plastiques d'une terre sont représentées sur le diagramme de plasticité "P". [3]

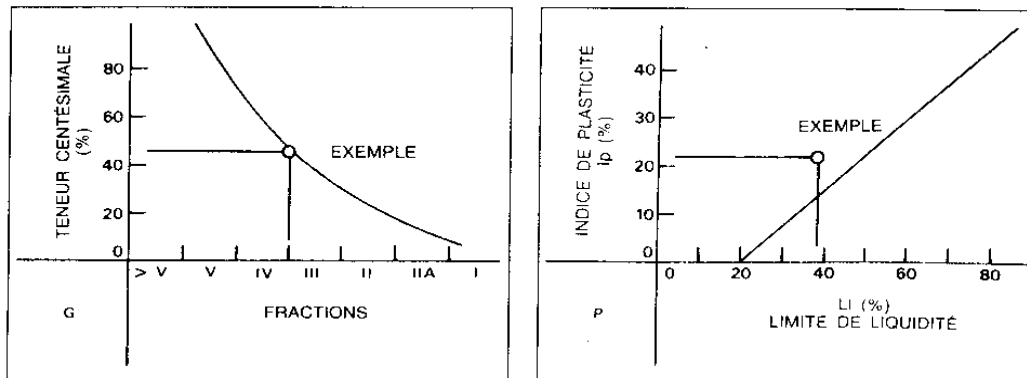


Fig. 2 – 7 : *diagramme de plasticité "P"*.

II-7-2-4 – Compressibilité:

La compressibilité d'une terre définit son aptitude à se laisser comprimer au maximum pour une énergie de compactage et un taux d'humidité donnés (teneur en eau optimale ou T.E.O.). Lorsqu'un volume de terre est soumis à l'action d'une force, le matériau est comprimé et l'indice des vides décroît. Plus la densité d'une terre peut être augmentée, plus sa porosité est bloquée et moins l'eau peut avoir l'occasion d'y pénétrer. Cette propriété résulte de l'imbrication plus étroite des particules qui réduit les risques de perturbation de la structure sous l'action de l'eau. [3]

La compressibilité d'une terre est mesurée par l'Essai Proctor. On la représente sur le diagramme de compressibilité "C" où sont mis en relation la Teneur en Eau Optimale et la Densité Sèche Optimale, pour une énergie de compression donnée. [3]

II-7-2-5 – Cohésion:

La cohésion d'une terre exprime la capacité de ses particules à se maintenir ensemble lorsque l'on exerce sur le matériau une contrainte de traction. La cohésion d'une terre dépend des caractéristiques de collage ou de cimentation de son mortier grossier (fraction de grains de $0 < 2$ mm) qui lie les grains inertes entre eux.

Cette propriété est donc tributaire de la quantité et de la qualité collante des argiles.

On peut classer les mortiers grossiers de la façon suivante :

- ✓ Mortier Sableux ;
- ✓ Mortier Maigre ou Mortier Moyen ;
- ✓ Mortier Gras ;
- ✓ Argiles.

La cohésion se mesure par l'Essai de Traction à l'état humide ou encore dénommé l'Essai du "8". La cohésion d'une terre est représentée sur un diagramme de résistance à la traction "T". [3]

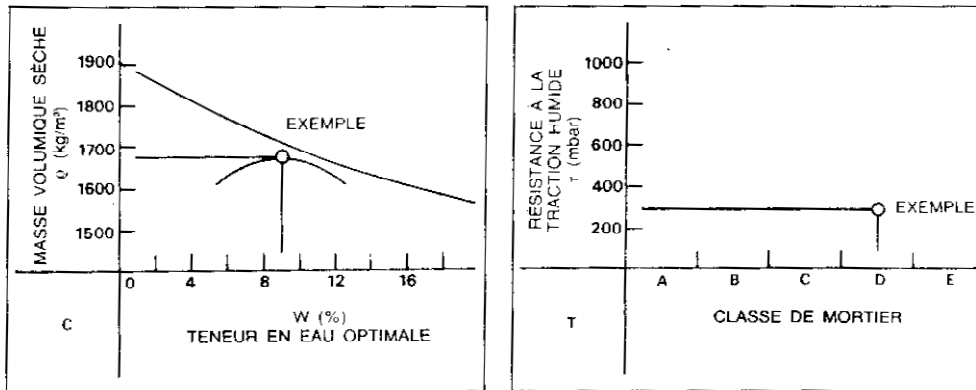


Fig. 2-8 : diagramme de résistance à la traction "T"/exemple de masse volumique en fonction de la teneur en eau

II-7-3 Classifications des terres:

II-7-3-1 Classification Géotechnique: La classification géotechnique est la mieux adaptée à la construction en terre. Elle dépend de :

- ✓ La granularité (directement);
- ✓ La plasticité (directement) ;
- ✓ La compressibilité (indirectement);
- ✓ La cohésion (indirectement) ;
- ✓ La quantité de matières organiques.

Elle est indépendante de :

- ✓ L'état hydrique de la terre ;
- ✓ La densité de la terre in situ ;
- ✓ Les constituants gazeux et liquides.

Il existe de nombreux systèmes de classification géotechnique. Leurs variantes conduisent à des confusions. En principe, il est préférable de s'en référer aux classifications régionales adaptées aux conditions locales. Aucun système n'a été spécifiquement adapté à la construction en terre. Les systèmes qui sont reproduits ici sont parmi les plus intéressants. Ils ont été légèrement simplifiés et adaptés aux essais spécifiquement recommandés pour la construction en terre. [3]

II-7-3-2 Classification pédagogique :

La classification pédagogique moderne prend en compte l'ensemble du profil d'un sol et met l'accent sur le processus de formation et d'évolution en s'appuyant sur:

- le degré d'évolution et de différenciation du profil ;
- le mode de formation et d'altération des argiles ;
- les processus physico-chimiques de base qui sont à l'origine du sol, souvent liés aux matières organiques. La classification de PH. Du chaufour (Centre de Pédologie du CNRS, France) traduit cette dernière tendance actuelle. On peut trouver des tableaux de correspondance entre cette classification et d'autres, notamment la classification FAO dans la littérature spécialisée. [3]

II-7-3-3 Classification de Du chaufour (présentation simplifiée):

II-7-3-3-1 - Division 1

Sols dont la pédogenèse est très liée à l'évolution des matières organiques (généralement sous climats tempérés et froids). [3]

II-7-3-3-2 - Division 2 : Sols dont la pédogenèse :

- ✓ est assez indépendante de l'évolution des matières organiques;
- ✓ est très liée au contraire au climat chaud, plus ou moins humide et au comportement particulier des oxydes de fer et d'alumine. [3]

II-7-3-3-3- Division 3 :

Sols dont la pédogenèse est liée à des conditions locales de station. [3]

II-7-3-4 Terre spécifique :

Il existe des terres particulières dont les dénominations sont spécifiques à chaque discipline: agriculture, géotechnique ou pédologie. Les appellations suivantes sont les plus fréquemment employées dans la littérature. [3]

II-7-3-4-1 – Latérites:

Dans les régions tropicales et subtropicales humides, la désagrégation de la roche mère et l'altération chimique associée au lessivage et à l'évaporation conduisent à une accumulation de sesquioxides dans l'horizon B (surtout de fer). Les sols latéritiques sont caractérisés par une désagrégation très avancée et par une concentration de ces hydroxydes métalliques. Certaines latérites sont plus riches en composés alumineux : ce sont les bauxites. Les sols latéritiques n'ont qu'une faible couche de matière organique. Suivant leur situation, les latérites sont de consistance tendre, sableuse ou argileuse, ou au contraire dure et caillouteuse. Leur durcissement rapide à l'air est caractéristique. Au-delà de ces indications générales, les spécialistes n'ont pas encore donné une définition exacte et unique des latérites. Le rapport chimique $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1,33$ s'est longtemps imposé quoique souvent contesté. On admettait récemment que le rapport pouvait être voisin de 2, le plus souvent inférieur mais aussi parfois supérieur. En pédologie, le terme latérite, trop général, est remplacé par des dénominations

multiples qui reflètent la spécificité des sols: sols fersiallitiques, ferrugineux ou ferrallitiques. Encore aujourd'hui, la définition généralement retenue est celle de Buchanan (1807), qui a d'ailleurs suggéré le nom de latérite (du latin *lacer*: brique). [3]

II-7-3-4-2 - Terre rossa et terre fusca:

Ce sont des argiles de très lente décarbonatation formées sur des couches épaisses de calcaire dur et pauvre en argile, avant la dernière glaciation, quand dominait le climat méditerranéen ou même tropical. La terra rossa, rouge, se distingue de la terra fusca, brune, par sa rubéfaction. La terra rossa se rencontre dans la plupart des régions méditerranéennes. Plus au Nord, ce sont des sols fossiles qui se brunissent (faire apparaître la couleur brune de l'association argile-fer) progressivement en surface. Ces sols brunifiés gardent leur teinte rouge en profondeur. [3]

II-7-3-4-3- Terres noires tropicales:

Ces sols se rencontrent dans les régions tropicales humides et se développent sur des roches volcaniques (basalte). Leur nom plus connu est celui de "black Cotton soils", dérivé de leur couleur sombre (noir ou gris et brun foncés) et du fait que ces sols sont souvent cultivés de coton (Inde). Ils sont riches en carbonate de calcium et très argileux. Les argiles dominantes sont des montmorillonites avec une capacité d'échange d'ions très élevée. Jusqu'à 90 % des argiles peuvent avoir un diamètre inférieur à $0,15\mu$. Le gonflement impressionnant à l'humidité et un fort retrait au séchage sont notoires. A l'état sec, ces sols sont très durs. En Inde, ils couvrent près de 500 000 km². On les rencontre aussi en Argentine du Nord et dans plusieurs pays d'Afrique. Au Maroc, ils sont nommés "tirs" (plaines du Gharb et du Loukkos). Les black Cotton soils ont des limites de liquidité LI de l'ordre de 35 à 120 % et des indices de plasticité Ip de 10 à 80 et plus. Leur retrait linéaire va classiquement de 8 à 18 %. A titre d'exemple, les "tirs" marocains ont une LI de 50 à 70 % et un Ip de 30 à 50 % ; leur retrait est de 10 à 12 %. Au Soudan, les "Adobe" ont une LI de 47 à 93 %, un Ip de 13 à 58 % et un retrait de 8 à 18 %.[3]

II-7-3-4-4- Loess:

C'est un dépôt éolien, fin et homogène, de texture silteuse, pauvre en sables, contenant 10 à 20% de carbonate de calcium. Le matériau originel provient des régions désertiques (arraché au désert de Gobi pour la Chine) ou des régions périphériques des grands glaciers: dépôts morainiques (en Europe). Les couches de loess sont épaisses de quelques dizaines de cm à 1 ou 2 dizaines de m. Le loess est très friable. On le creuse sans difficulté (habitat creusé en Chine du Nord). [3]

II-7-3-4-5- Roches argileuses:

Elles forment la majorité des roches sédimentaires (80 %). Les argiles plastiques du groupe des phyllosilicates en sont le meilleur exemple. Mais ce sont aussi les Shales. Roches silico-alumineuses plus connues sous le nom de schistes ou d'ardoises qui sont non plastiques à l'état humide. C'est encore le Marl, minéraux argileux mélangés à des particules carbonatées. Quand le liant de ces roches est de l'argile, on est en présence de terre. Lorsque c'est un ciment naturel (tuf calcaire par exemple), il s'agit d'une roche. Cette distinction importe car un même terme régional peut désigner des matériaux très différents. Au Mexique, le terme "Tepetate" désigne autant le "Calcrete" (gravier cimentés par du tuf calcaire) que des terres ou des roches très calcaires, ou de la craie. De même aux U.S.A., avec les termes "Caliche" ou "Chalk" ou en Tunisie avec la "Torba". D'autres termes portent la même confusion: marne, tuf, craie, mergel, Bhata, Dhandla... On observe souvent de fortes teneurs en carbonate de chaux (CaCO₃), de 50 à 75% et des teintes variant de l'ocre au blanc. L'indice de plasticité diminue avec l'augmentation des carbonates. Par exemple, en Tunisie, on a des Ip de 20 % pour 75 %

de CaCO₃ et de 13 % pour 90 % de CaCO₃. La granularité est difficile à déterminer car ces terres sont en induration et se désintègrent mal dans l'eau. Elles demeurent cependant assez friables à l'état sec. [3]

II-7-3-4-6- Terres salines:

Elles sont riches en chlorure de sodium (NaCl) ou en sulfate de sodium (Na₂SO₄). On les rencontre surtout sous climat sec. Semi désertique, steppique ou tropical sec où la forte évaporation supprime tout drainage climatique. On les rencontre aussi sur un matériau enrichi en sel ou à proximité d'une nappe salée. Sous climat aride, ces sols sont proches des grandes dépressions salées subdésertiques ("Sebkhas" ou "Chotts" d'Afrique du Nord, "Playas" d'Amérique du Nord, "Takyr" d'Asie Centrale) et dans les grandes vallées irriguées: Egypte, Libye, Israël, Syrie, Irak, Turquie. Sous climat humide les terres salées n'existent qu'à proximité de la mer (polders des climats tempérés, mangroves en climat équatorial). [3]

II-7-3-4-7- Terres alluviales:

Elles bordent les rivières et les fleuves dans des vallées plus ou moins larges. Ces terres riches en minéraux en cours d'altération sont de texture variable, généralement filtrante, fine en surface (sables fins, limons, silts) et plus grossière en profondeur. Leur couleur varie de l'ocre brun (sur bourrelets) au gris (en zone inondée) et au noir (en zone marécageuse). [3]

II-7-3-4-8- Tourbe:

Ce matériau résulte de la décomposition des végétaux à l'abri de l'air, souvent dans un lac peu profond ou dans un marécage. La tourbe est généralement de couleur brun foncé et contient des fragments végétaux, nettement identifiables, et très peu de matières minérales. [3]

II-7-3-5- Localisation des terres:

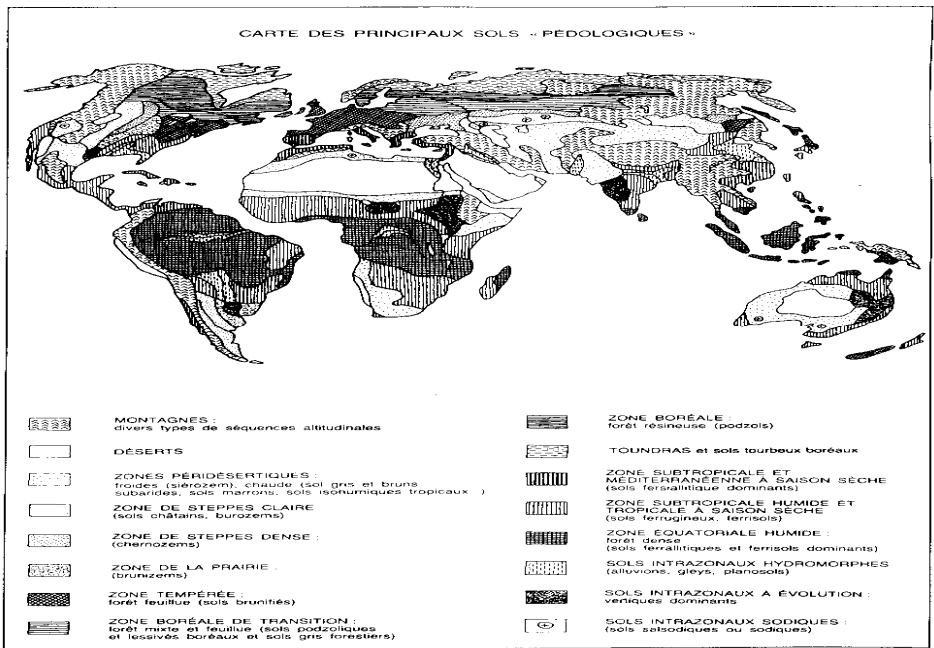


Fig. 2 – 9 : carte des principaux sols « PEDOLOGIQUES ».

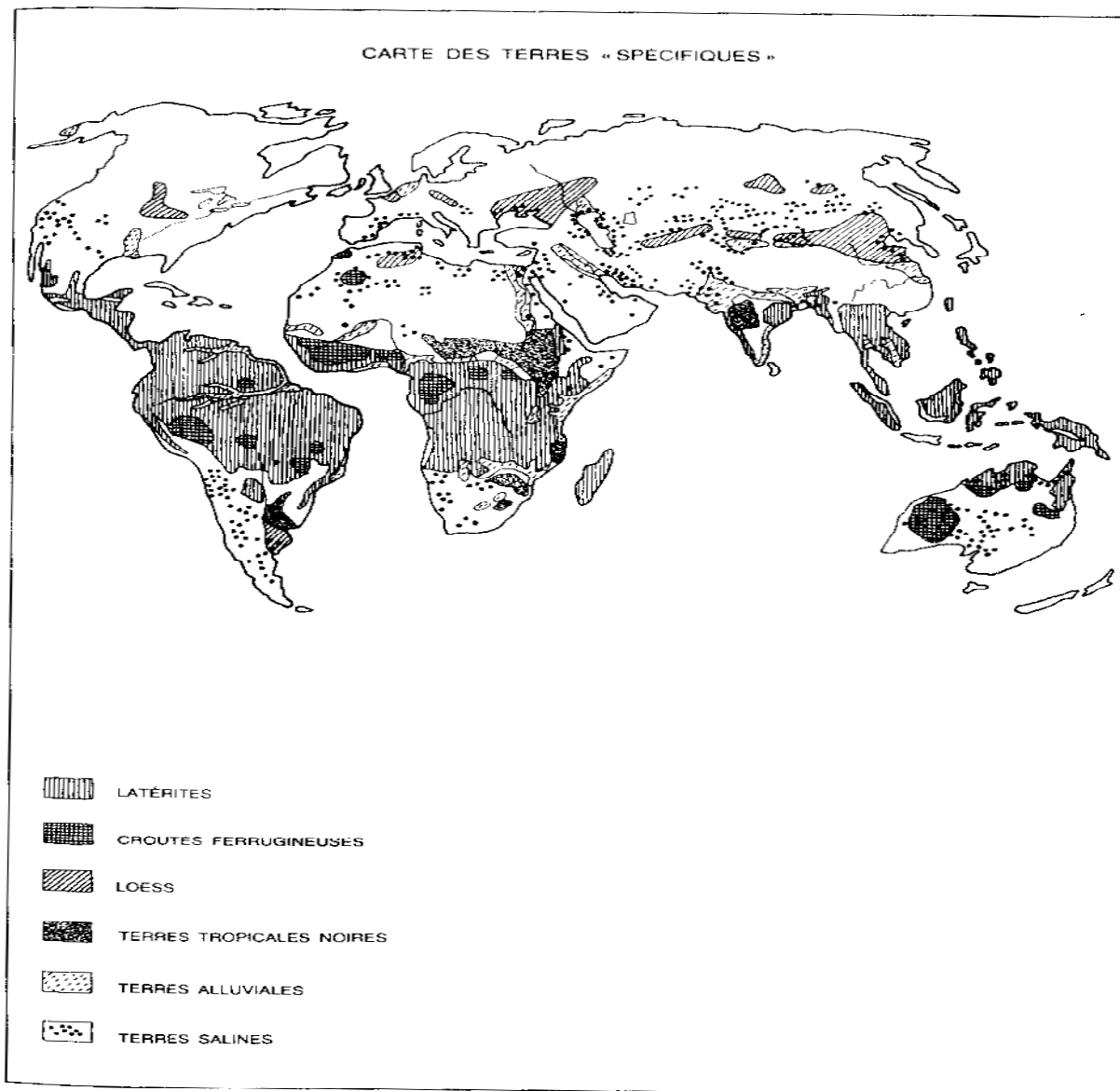


Fig. 2 – 10 : carte des terres « spécifique »

II-7-3-6 Identifications des terres :

L'identification correcte est un pas Essentiel dans le processus de décision concernant le choix d'une technologie de transformation de la terre en matériau de construction. [3]

Il y a une grande variété d'essais qui peuvent être effectués sur la terre, mais en fait, il n'y a qu'un nombre assez restreint d'essais qui permettent une interprétation directe de l'adéquation de la terre à la construction et qui sont donc utiles. [3]

On distingue des essais de terrain et des essais de laboratoire. Tous les deux servent à fournir les informations nécessaires à la décision concernant l'utilisation de la terre, mais les essais de terrain peuvent également donner une indication quant à la nécessité de passer par les essais de laboratoire qui sont évidemment plus sophistiqués, plus longs à exécuter et surtout beaucoup plus coûteux. [3]

II-7-4- Procédure d'identification des terres :

II-7-4-1-Introduction :

Du fait de sa grande hétérogénéité naturelle, la terre pose des problèmes d'identification. Il est indispensable d'identifier une terre avec précision si l'on veut réaliser une économie sur la production des matériaux en terre crue et sur leur emploi en construction. Pour des travaux simples, un diagnostic d'identification basé sur l'expérience peut suffire mais l'on doit s'assurer de la concordance des signes du diagnostic. Si l'on constate des contradictions, il y aura lieu de pratiquer des tests de laboratoire complémentaires. Pour des travaux importants, l'identification doit être poussée au point de permettre une sélection des tests de contrôle appropriés et pour supprimer ceux qui sont inutiles; car la procédure d'identification complète peut être fastidieuse. Une bonne identification de base de la terre peut donc assurer un gain de temps et d'argent non négligeable. Mais l'on jugera de l'utilité ou de l'inutilité des tests de contrôle en connaissance des propriétés du matériau et de ses composants principaux, de leurs caractéristiques physiques et mécaniques fondamentales et à l'aide d'un matériel de référence fiable (tableaux, abaques). On se souviendra que la terre est un matériau complexe et que l'identification seule n'assure pas forcément un emploi correct en construction, qu'il est aussi nécessaire de réaliser quelques essais d'évaluation des performances mécaniques du matériau de construction. [4]

La procédure générale précisée par la suite n'est pas limitative et peut être complétée par d'autres procédures. Il est recommandé d'exploiter les connaissances locales ou les savoir-faire traditionnels ainsi que les procédures d'autres disciplines - géologie, agronomie, pédologie - qui peuvent fournir des indices d'interprétation. [4]

Trois étapes sont nécessaires pour identifier et classer une terre :

1^{er} étape: identification des caractéristiques et des propriétés de base des composants de la terre qui vont influencer le comportement mécanique du matériau ; ce sont des analyses préliminaires de terrain, visuelles ou manuelles.

2^{ème} étape: on rédige une description du sol en consignait les caractéristiques et propriétés de base identifiées grâce aux analyses préliminaires. Cette information descriptive est nécessaire pour différencier la terre analysée par rapport à un groupe descriptif plus large.

3^{ème} étape : si les analyses de terrain n'ont pas permis une classification assez précise, on réalise des analyses en laboratoire ; cette démarche n'est requise que si une identification très précise est nécessaire : terres très particulières, précisions minéralogiques. On pourra alors classer la terre dans un groupe et même un sous-groupe en lui assignant un symbole de classification. [4]

II-7-4-2- Sources d'information:

Avant de travailler sur le terrain, il convient d'exploiter les informations qui ont été enregistrées ou consignées le plus souvent sous forme de cartes et de notices descriptives: géologie. Pédologie, géographie, topographie, hydrologie, pluviométrie, couvert végétal, agriculture, infrastructure routière, etc. La confrontation de ces données fournit des informations préliminaires qui peuvent orienter le travail de terrain. Au besoin, on fait intervenir les spécialistes locaux des disciplines évoquées pour une meilleure interprétation des informations disponibles.

On peut aussi obtenir des renseignements auprès des stations agricoles régionales, de centres de recherches, d'universités, des services de travaux publics., des mines et ressources, des entrepreneurs de travaux publics, etc. [4]

II-7-4-3- Fiche d'identification- dossier -:

Chaque échantillon prélevé sur le terrain reçoit une "carte d'identité". Il s'agit d'une fiche qui consigne le maximum d'informations : date et lieu de prélèvement, chantier concerné, demandeur, n° de l'échantillon et n° du sondage, profondeur de prélèvement, nom du préleveur ou sondeur, poids, remarques particulières, etc. Cette fiche d'identité est complétée au fur et à mesure et constitue un dossier par échantillon où l'on trouve: le nom typique de la terre, son symbole de groupe, la texture, la structure, la forme des grains, le diamètre maximal, la plasticité, la minéralogie, l'odeur, la couleur, l'état hydrique, la compacité, la compressibilité, la cohésion, etc.

II-7-4-4-Matériels d'identification:

Le matériel nécessaire à l'identification des terres peut être très simple - quelques objets et instruments usuels: couteaux, récipients divers - ou relativement sophistiqué - un laboratoire intégralement équipé dont l'équipement complet peut coûter jusqu'à quelques millions de francs. On peut aussi utiliser des matériels d'importance intermédiaire: laboratoire de fortune ou même un laboratoire mobile installé dans un petit camion. Il existe aussi des petites valises de terrain compactes et très pratiques qui permettent de réaliser les essais les plus indispensables. Le matériel contenu dans ces valises de terrain doit permettre de réaliser les essais suivants: brillance, adhérence, décantation, sédimentation, granulométrie, plasticité, compactibilité (pas absolument nécessaire), cohésion, minéralogie, chimie. [4]

Le matériel d'identification des terres que l'on évoque ici implicitement doit convenir pour réaliser la série de tests et essais la moins sophistiquée. Il est bien entendu que ce sont avant tout des essais de terrain. Il s'agit donc d'instruments et outils du type petite pioche, couteaux et spatules, récipients divers pour produits indispensables et autres ingrédients, récipient gradué, moules utiles aux tests de contraction linéaire et volumétrique par exemple, mètre de poche, etc. [4]

II-7-4-5-Collecte des échantillons:

On peut employer une tarière manuelle ou mécanique (des camions sont équipés de tels outils). Les tarières permettent une extraction rapide et à grande profondeur : jusqu'à 5 à 6 m avec des rallonges, 0,60 à 0,70 m sans rallonge. Les diamètres courants des têtes de tarières varient de 6 cm à 25 cm. Leur poids est d'environ 5 kg ajoutés de 3 kg par rallonge de 1 m. Le principal défaut de cet outil est le risque de mélange des couches de surface aux couches de profondeur. [4]

On peut aussi creuser un trou d'environ 1 m de côté sur 2 m de profondeur. On prévoit une bonne orientation au soleil afin de favoriser l'observation. Il faut veiller la sécurité des ouvriers : risques d'éboulements dans les blocs peu cohésifs. La terre excavée est dégagée proprement et l'on n'y prélève aucun échantillon. La terre qui sera analysée est prélevée dans l'une des parois du trou par creusement horizontal. On peut aussi prélever les échantillons dans des talus naturels où les pendages des couches de sols sont bien définis. On prendra soin de bien dégager les végétaux et matières organiques de surface. [4]

II-7-4-6-Poids des échantillons:

En principe, 1,5 kg de terre suffisent pour réaliser tous les essais d'identification de base, sauf pour la compactibilité qui exige 6 à 10 kg. Si l'on veut tester au moins une brique aux dimensions de 29,5 x 14 x 9 cm, 10 kg de terre sont nécessaires. La quantité de terre à prélever sera précisée en fonction de la liste de tests et d'essais que l'on compte réaliser, en fonction de la précision recherchée qui peut exiger un doublage des tests, suivant les frais et les difficultés engagés, le coût des essais. Suivant bien sûr la qualité de la terre: une terre grenue réclame un échantillon plus important qu'une terre fine. [4]

II-7-4-7-Qualité de l'échantillon:

L'échantillon prélevé doit être représentatif d'une qualité de terre à analyser. Pour assurer cette représentation de l'échantillon, on tâchera de respecter quelques principes généraux

- Veiller à ne pas contaminer la terre en mélangeant différents horizons de prélèvement.
- Ne rien enlever ni ajouter à l'échantillon: pas de rectification de l'état naturel.
- Effectuer des prélèvements très localisés.
- Si le sol est hétérogène, ne pas chercher à faire une "moyenne" mais multiplier les prélèvements en chaque endroit différencié. [4]
- Pour diviser l'échantillon, le placer en forme de cône sur un tissu propre; l'aplatir et le diviser en quatre; rejeter deux parties opposées, reformer un cône et recommencer l'opération jusqu'à l'obtention de la qualité désirée. [4]

II-7-4-8-Conditionnement de l'échantillon:

Les échantillons sont conditionnés dans des récipients ou sacs étanches qui ne peuvent se briser ou s'éventrer pendant le transport. Si l'on doit maintenir l'état hydrique d'origine, un conditionnement à la paraffine sera utile. Les containers sont soigneusement étiquetés : l'étiquette d'identité, protégée, est si possible placée dans le container pour ne pas être altérée par les manipulations. [4]

II-7-4-9- Analyse préliminaires:

Sur le terrain, en prenant connaissance de la terre susceptible d'être employée pour construire, il importe de pratiquer quelques essais rapides d'identification. Ces essais de terrain, simples, permettent d'apprécier certaines caractéristiques du matériau et de confirmer, ou d'infirmer, l'aptitude de la terre pour son emploi en construction. Ces essais sont assez empiriques; aussi convient-il de les répéter afin de n'en point rester à des impressions. Ces essais indiquent si des analyses complémentaires de laboratoire sont nécessaires. [4]

a- Examen visuel:

On examine à l'oeil la terre sèche pour apprécier l'importance de sa fraction sableuse et de sa fraction fine. On enlève les gros cailloux, les graviers et les gros sables pour faciliter l'évaluation (cette opération est également applicable à tous les essais qui suivent). La fraction fine est constituée par les graviers d'un diamètre inférieur à 0,08 mm. Ce diamètre se trouve à la limite de la visibilité à l'oeil nu. [4]

b- Essai de l'odeur:

On sent la terre que l'on vient d'extraire. Elle est de nature organique si l'odeur évoque le "moisi". Cette odeur est amplifiée si l'on chauffe ou humidifie la terre. [4]

c- Essai de morsure:

On mord une pincée de terre et on l'écrase légèrement entre les dents. La terre est sableuse si elle crisse avec une sensation désagréable. La terre est silteuse si le crissement ne donne pas une sensation désagréable. La terre est argileuse si l'on éprouve une sensation lisse ou farineuse, ou si une pastille de terre sèche est collante quand on y applique la langue. On fera attention à la qualité hygiénique de l'échantillon prélevé. [4]

d- Essai de toucher:

On triture la terre débarrassée de ses plus grosses particules en effritant un échantillon entre les doigts et la paume de la main. La terre est sableuse si l'on éprouve une sensation de rugosité et si elle ne présente aucune cohésion. La terre est silteuse si l'on a l'impression d'une faible rugosité et si l'échantillon humidifié devient moyennement plastique. La terre est argileuse si, à l'état sec, elle présente des mottes ou concrétions qui résistent à l'écrasement et si elle devient plastique et collante lorsqu'elle est humidifiée. [4]

e- Essai de lavage:

On se lave les mains avec de la terre légèrement mouillée. La terre est sableuse si les mains se rincent facilement, la terre est silteuse si elle paraît pulvérulente et si les mains ne sont pas trop difficiles à rincer. La terre est argileuse si l'on a une sensation savonneuse et si les mains sont difficiles à rincer. [4]

f- Essai de l'éclat:

Une boulette de terre légèrement humide est coupée en deux avec un couteau. Un aspect terne de la surface entaillée indique une terre plutôt silteuse. Un aspect brillant indique que l'on est en présence d'une terre argileuse plastique. [4]

g- Essai d'adhérence:

On prend une masse de terre humide qui ne colle pas aux doigts et on y enfonce une spatule ou un couteau. La terre est très argileuse si la spatule s'enfonce difficilement et si la terre y adhère lorsqu'on la retire. La terre est moyennement argileuse si la spatule pénètre sans grande difficulté et si la terre y adhère quand on la retire. La terre est peu argileuse si l'on pénètre et retire la spatule sans effort même si elle demeure sale lorsqu'on la retire. [4]

h- Sédimentation:

Les précédents essais ont permis entre autres de se faire une idée de la texture de la terre et des quantités de ses fractions distinctes ainsi que de la qualité de sa fraction fine. Mais cette idée demeure somme toute assez grossière. Il est possible de réaliser un test de sédimentation simplifiée, sur le terrain, qui apportera quelques précisions sur les quantités des fractions texturales. Le matériel utilisé

est simple: un flacon de verre transparent, cylindrique à fond plat, de capacité minimale de 1 litre et doté d'un col assez large pour pouvoir l'obturer de la main. [4]

La procédure est la suivante:

- Remplir le flacon avec de la terre jusqu'au 1/4 de sa hauteur.
- Compléter les 3/4 du volume avec de l'eau pure.
- Laisser reposer le flacon pour permettre une imprégnation par une trituration manuelle.
- Obturer l'ouverture avec la main ou un couvercle approprié et agiter vigoureusement le flacon.
- Laisser décanter le mélange troublé sur une surface horizontale.
- Agiter de nouveau 1 heure après et laisser décanter.
- Environ 45 minutes après, on peut constater que les sables se sont déposés au fond du flacon, surmonté d'une couche de silt que couronne une couche d'argile. Au-dessus de l'eau surnagent des débris organiques. Restent éventuellement en suspension dans l'eau les colloïdes extrêmement fins. Normalement, ce n'est que 8 heures après que l'on mesure les hauteurs des différentes couches précipitées. On mesure tout d'abord la hauteur totale des sédiments (100 %) sans tenir compte de la hauteur d'eau claire qui les recouvre puis l'on mesure chaque couche distincte. [4]

Ce calcul des hauteurs des couches de sédiments, qui permet d'apprécier les pourcentages de chaque fraction granulaire, est légèrement faussé par le fait que les fractions silteuses et argileuses sont expansées et apparaissent donc un peu plus importantes qu'en réalité. [4]

II-7-4-10 – Retrait:

Le test de retrait linéaire ou test d'Alcock est réalisé à l'aide d'une boîte en bois de 60 cm de long, 4 cm de large et 4 cm de profondeur. Les faces internes de la boîte sont graissées avant de la remplir de terre humide à la T.E.O. La terre est tassée dans les angles de la boîte avec une petite palette en bois qui sert aussi à aplanir la surface. La boîte remplie est exposée au soleil 3 jours ou à l'ombre 7 jours. Après ce délai, on pousse la masse de terre sèche et durcie en l'une des extrémités de la boîte et l'on mesure le retrait total de la terre en l'autre extrémité de la boîte. [4]

On sait désormais si la terre contient beaucoup ou peu de graves, beaucoup ou peu de fines. Il a été possible d'apprécier la qualité des fines en distinguant les limons des argiles et de constater ou non la présence de matières organiques. Ce sont là des essais de terrain effectués avec les moyens du bord qui peuvent manquer de précision, mais qui demeurent très utiles lorsque l'on travaille dans des conditions difficiles et isolées de tout équipement de laboratoire. [4]

Lorsque les analyses préliminaires de terrain ne donnent pas de résultats assez satisfaisants, il convient d'engager une autre série d'essais principalement basés sur l'observation de la texture, de la plasticité et de la cohésion. Ces essais n'exigent aucun matériel sophistiqué, tout au plus quelques récipients, un tube flexible, une cuiller. Cette seconde série d'essais permet de dresser une classification géotechnique de terrain. [4]

Néanmoins ces essais, réalisés avec une grande rigueur et systématiquement, permettront de faire des estimations assez précises sur la qualité de la terre que l'on compte employer en construction. [4]

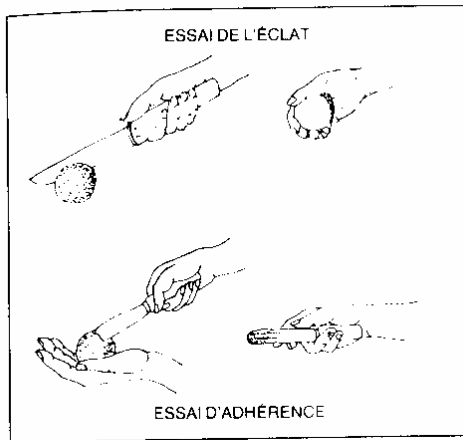


Fig. 2 – 11 : Essai d'adhérence -d'éclat-.

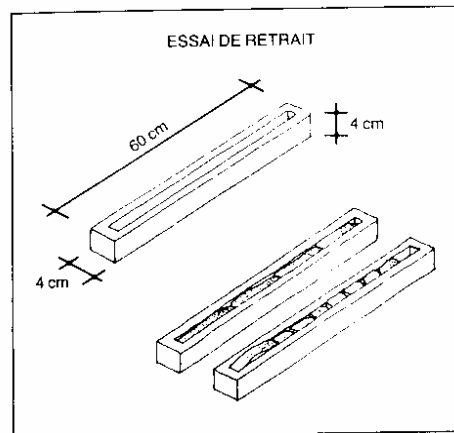


Fig. 2 – 12 : Essai de retrait.

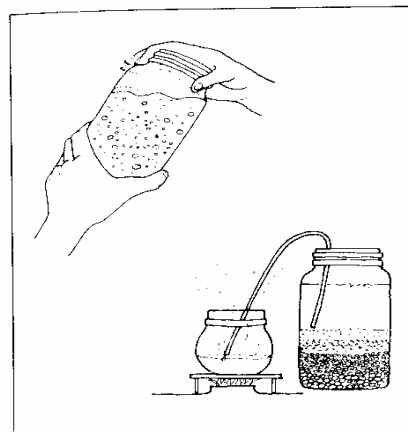
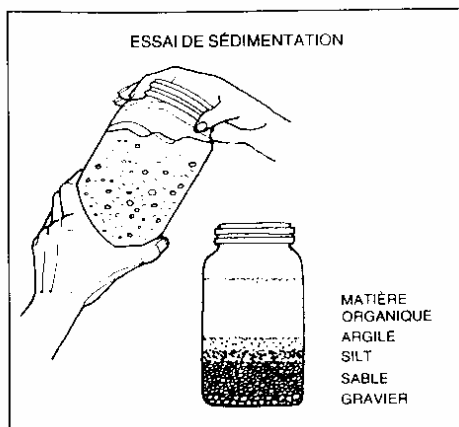


Fig. 2 – 13 : Essai de sédimentation.

II-7-5 Procédure de classification des terres :

II-7-5-1 Décantation:

La procédure de l'essai de décantation commence de la même façon que pour l'essai de sédimentation: on agite vigoureusement le flacon contenant l'échantillon de terre et L'eau, puis on laisse décanter. L'eau et les matériaux en suspension sont prélevés à l'aide d'un tube flexible de D inférieurs à 0,50 cm qui permet de siphonner et le tout est déposé dans un récipient. Cette opération peut être répétée plusieurs fois. L'excès d'eau que peuvent encore contenir les différentes fractions de grains est évacué par évaporation. La décantation n'est pas une méthode de séparation très précise, mais elle est plus efficace qu'une simple évaluation usuelle des deux fractions. [4]

II-7-5-2-Analyses visuelles des fines :

Les analyses suivantes sont réalisées sur la fraction "mortier fin" ($0 < 0,4 \text{ mm}$) isolée par tamisage ou par le test de décantation à partir de la fraction de grains de $0 < 2 \text{ mm}$. [4]

a-Test de résistance à sec:

- ✓ Préparer deux ou trois pastilles de terre molle.
- ✓ Faire sécher les pastilles au soleil ou au four jusqu'à ce qu'elles soient totalement sèches.
- ✓ Casser la pastille de terre et essayer de la réduire en poudre entre le pouce et l'index.
- ✓ Evaluer la résistance de la pastille, interpréter.

b-Test de ressuage:

- ✓ Confectionner une boule de "mortier fin" de 2 ou 3 cm de ϕ .
- ✓ Mouiller la boule de façon à ce qu'elle se tienne sans coller aux doigts.
- ✓ Aplatis légèrement la boule dans la paume de la main en extension horizontale et du tranchant de l'autre main, frapper vigoureusement la paume portant la boule aplatie pour en faire sortir l'eau. L'aspect de la terre peut être lisse, brillant ou gras.

Presser ensuite la boule plate entre le pouce et l'index et observer les réactions, interpréter. [4]

c-Test de consistance:

- . Confectionner une boule de "mortier fin" de 2 à 3 cm de ϕ .
- . Mouiller pour pouvoir modeler sans que la terre soit collante.
- . Rouler la boule sur une surface plane et propre jusqu'à obtenir peu à peu un cordon mince.
- ✓ Si le cordon casse avant un ϕ de 3 mm, la terre est trop sèche: rajouter un peu d'eau.
- ✓ Le cordon doit se fractionner lorsque son ϕ est égal à 3 mm.
- ✓ Le cordon brisé, reconstituer une boulette et l'écraser entre le pouce et l'index, interpréter. [4]

d-Test de cohésion:

- . Confectionner un rouleau de terre de la taille d'un cigare de $\phi = 12 \text{ mm}$.
- ✓ La terre ne colle pas et peut être modelée en un cordon continu de $\phi = 3 \text{ mm}$.
- ✓ Le cordon est placé dans la paume de la main. On l'aplatit entre le pouce et l'index en commençant par une extrémité jusqu'à obtenir un ruban de 3 à 6 mm de largeur (manipuler avec précaution) pour obtenir la plus grande longueur possible.
- ✓ Mesurer la longueur obtenue avant que le ruban ne se casse, interpréter.

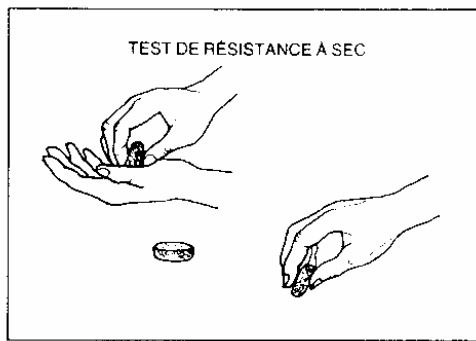


Fig. 2 – 14 : Test de résistance a sec.

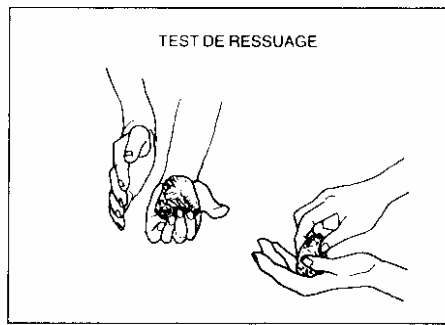


Fig. 2 – 15 : Test ressuage.

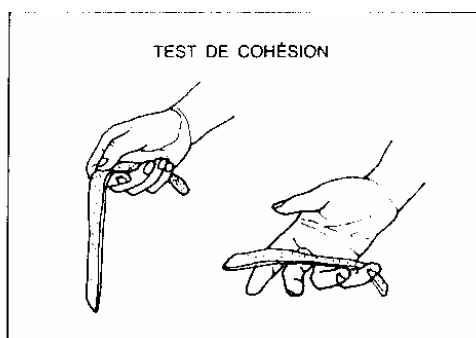
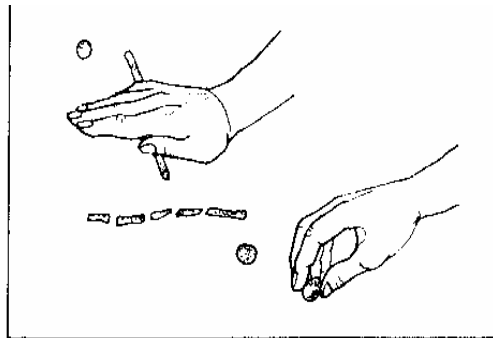


Fig. 2 – 16 : Test de cohésion.



II-7-5-2-Interprétations:

a- Grande résistance à sec : La pastille est très difficile à casser, elle se brise avec un claquement, tel un biscuit sec. On ne peut écraser la terre entre le pouce et l'index, seulement l'effriter sans la réduire en poudre: **argile presque pure**. [4]

b- Résistance moyenne à sec: La pastille n'est pas trop difficile à casser. On arrive à la réduire en poudre entre le pouce et l'index après quelques efforts : **argile silteuse ou sableuse**. [4]

c- Faible résistance à sec : La pastille se casse facilement et se réduit en poudre entre le pouce et l'index sans aucune difficulté: **silt ou sable fin, peu d'argile**. [4]

II-8-Conclusion :

Ce chapitre nous a mener à connaître les processus d'altération de la terre. Ces structures définie par le mode d'assemblage des constituants solide, la composition granulaire d'une terre dite : texture et les différentes matières organique et minérale qui le constitue .Les propriétés des terres se diffèrent l'une de l'autre soit les propriétés a caractère chimique ou physique, la connaissance de ces propriétés est importante, surtout celle des quatre propriétés fondamentales: la granularité, la plasticité, la compressibilité et la cohésion.

Il existe trois mode de classification différentes l'une de l'autre, classification géotechnique, pedologique et la classification de Duchaufour, alors que la procédures d'identification est très lente procédant par la préparation du matériau, aux moyens utilisées et les différentes essais nécessaires pour l'identification et finalement les procédures de classification des terres qui ce base sur les tests de résistance a sec, ressuage, consistance et le test de cohésion.

Chapitre III : Traitement des terres - Stabilisation-

III-1-Introduction :

Devant la nécessité de créer une science de la construction en terre, comme il existe une science du béton, il a été décidé par trois organismes, le centre international de la construction en terre de l'école d'architecture de Grenoble (CRATerre-EAG), le Getty Conservation (GCI) et le centre international d'études sur la conservation et la restauration des Biens Culturels (ICCROM), de fédérer leurs travaux autour d'un projet cadre, le projet TERRA.

La stabilisation est pratiquée de très longue date mais c'est à partir des années 1920 que fut développée une approche scientifique, avec un cumul de recherches dans les années 1940 à 1960 qui se perpétuent de nos jours. Mais, malgré cela, la stabilisation n'est toujours pas une science exacte et l'on ne connaît pas à ce jour un stabilisant "miracle" qui répondrait à tous les problèmes.

Les méthodes de stabilisation les plus connues et les plus pratiquées sont la densification des terres par compression, l'armature de fibres, l'ajout de ciment, de chaux ou de bitume. Beaucoup d'autres produits existent, sont employés ou proposés, mais ils n'ont reçu que très peu d'attention et leurs mécanismes ainsi que leur efficacité sont mal connus.

Confronté à un problème de stabilisation, il convient de choisir un produit parmi la multitude de possibilités dont beaucoup ne devront même pas être envisagées, soit du fait de leur inefficacité, soit du fait de leur coût exagéré.

Donc dans ce chapitre on va voir pourquoi, quand et comment faire stabiliser le matériau terre, quels sont les moyens, les matériaux et les mécanismes à suivre pour atteindre l'objectif énoncé.

III-2-Principe de stabilisation :

III-2-1-Définition:

Stabiliser la terre c'est modifier les propriétés d'un système terre –eau -air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec une application particulière. Mais la stabilisation est un problème complexe, car de très nombreux paramètres interviennent .Il faut en effet connaître :

- Les propriétés de la terre à stabiliser.
- Les améliorations envisagées.
- L'économie du projet : coûts et délais de réalisation.
- Les techniques de mise en œuvre de la terre choisie pour le projet et les systèmes constructifs.
- La maintenance du projet réalisé : coût d'entretien.

L'amélioration des propriétés de la terre par stabilisation sera un succès si le procédé employé est compatible avec les impératifs du programme : coût et délais de réalisation, coût d'entretien notamment. [9]

III-2-2-Procédés :

On dénombre trois procédés de stabilisation :

III-2-2-1 - Stabilisation mécanique: c'est le compactage de la terre qui modifie sa densité, sa résistance mécanique et sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité. [9]

III-2-2-2 - Stabilisation physique: les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture: mélange contrôlé de fractions de grains différentes. Egalement par traitement thermique: déshydratation ou gel ; ou par un traitement électrique: électro-osmose qui favorise un drainage de la terre, lui conférant de nouvelles qualités structurales. [9]

III-2-2-3 - Stabilisation chimique: la terre est ajoutée d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés, soit du fait d'une réaction physicochimique entre les particules et le matériau ou le produit ajouté, soit en créant une matrice qui lie ou enrobe les particules. La réaction physicochimique peut entraîner la formation d'un nouveau matériau: composé pouzzolanique issu d'une réaction entre l'argile et la chaux par exemple. [9]

III-3- Quand stabiliser ?

La stabilisation n'est pas une obligation. On peut très bien s'en passer et construire en terre sans stabiliser. Pourtant, on relève une tendance actuelle qui préconise un recours trop systématique à la stabilisation, solution adaptée à tous les problèmes.

Cette attitude est regrettable car la stabilisation peut être à l'origine d'un surcoût important de 30 à 50 % du prix de revient du matériau. D'autre part, la stabilisation complique la production du matériau : études préalables de comportement du matériau plus longues par exemple.

Il convient donc d'insister sur le fait que le recours à la stabilisation ne doit être envisagé qu'en cas de nécessité absolue et qu'il doit être évité dans un contexte d'économie de pénurie. [9]

Si l'on prend en compte les risques d'une exposition du matériau à l'eau, on pourra dire

- ***Ne pas stabiliser*** lorsque le matériau n'est pas exposé à l'eau : murs protégés, murs enduits, murs intérieurs, architecture bien conçue en fonction de la logique du matériau terre.

- ***Stabiliser*** lorsque le matériau est exposé à l'eau, architecture mal conçue, négligeant les règles de l'art de bâtir en terre, ou contraintes d'implantation: terrain humide, murs exposés aux pluies battantes, par exemple. [9]

Mais on peut avoir recours à la stabilisation pour d'autres raisons :

- Pour améliorer la résistance à la compression.
- Pour densifier le matériau ou au contraire l'alléger. [9]

III-3-1 Moyens de stabilisation:

Pour des terres non remaniées, la stabilisation s'opère généralement par injection ou par imprégnation. Mais cette technique est peu employée dans le domaine de la construction en terre, étant davantage appliquée aux travaux publics, aux ouvrages d'art, au traitement des fondations ou même dans le domaine de la préservation des monuments historiques. [4]

Pour des terres remaniées, les procédés de stabilisation sont très nombreux et la littérature a produit divers systèmes de classification. Les stabilisants peuvent être classés selon leur nature : végétale ou animale, minérale ou synthétique, etc., ou bien selon leur forme: en poudre, en fibres, en plaquettes, en pâte, liquide, etc. [4]

On peut simplifier la classification en dénombrant six principaux modes de stabilisation :

Densifier ; Armer. ; Enchaîner ; Liaisonner; Imperméabiliser et Hydrofuger.

Chaque stabilisant n'agit pas obligatoirement selon un procédé exclusif mais il peut aussi cumuler plusieurs procédés: physique et chimique. [4]







MOYENS DE STABILISATION DES TERRES REMANIÉES						
STABILISANT	NATURE	PROCÉDÉ	MOYENS	PRINCIPE	SYMBOLE	
SANS APPORT DE STABILISANT		MÉCANIQUE	DENSIFIER	CRÉER UN MILIEU DENSE QUI BLOQUE LES PORES ET LES CANAUX CAPILLAIRES		
AVEC APPORT DE STABILISANT	STABILISANTS INERTES	MINÉRAUX	PHYSIQUE	ARMER	CRÉER UNE ARMATURE OMNI-DIRECTIONNELLE QUI RÉDUIT LE MOUVEMENT	
		FIBRES				
	STABILISANTS PHYSICO-CHIMIQUE	LIANTS	CHIMIQUE	ENCHAINER	CRÉER UN SQUELETTE INERTE QUI S'OPPOSE À TOUT MOUVEMENT	
				LIAISONNER	FORMER DES LIAISONS CHIMIQUES STABLES ENTRE LES CRISTAUX D'ARGILE	
		HYDRO-PHOBANTS		IMPERMÉABILISER	ENTOURER LES GRAINS DE TERRE D'UN FILM IMPERMÉABLE ET BOUCHER LES PORES ET CANAUX	
			HYDRO-FUGER	ÉLIMINER AU MAXIMUM L'ABSORPTION ET L'ADSORPTION D'EAU		

fig. 3 – 1 : Les différentes manières pour densifier.

III-3-2 Mécanismes de stabilisation :

III-3-2-1-Densifier:

Il y a deux manières différentes pour densifier:

a -Soit en manipulant la terre, mécaniquement, de façon à évacuer un maximum d'air: en pétrissant et en comprimant la terre. La texture de la terre ne varie pas mais l'on change sa structure car on redistribue les grains. La terre n'est pas simplement comprimée dans son état originel, elle est préalablement broyée pour la rendre plus homogène, puis comprimée. Au-delà de la phase de broyage, il est possible - mais non indispensable - d'employer des dispersants ou des cires qui peuvent faciliter le compactage. [4]

b -Soit en comblant un maximum de vides par d'autres grains. Pour opérer de cette deuxième façon, la texture doit être parfaite: ne pas laissé le vide entre chaque groupe de grains. Il s'agit d'une intervention directe sur la texture. [4]

III-3-2-2-Armer:

Si, pour diverses raisons, on n'est pas amené à intervenir sur la texture de la terre et que le matériau demeure très sensible aux mouvements divers induits par des causes différentes telles que:

compression, traction, action de l'eau, dilatation thermique, etc., on peut alors opposer à ces mouvements une armature. Cette armature est constituée de fibres de nature diverse : fibres végétales, animales, fibres minérales ou synthétiques. L'armature de fibres n'agit pas à l'échelle des grains mais à une échelle macroscopique. C'est à dire au niveau des agglomérations de grains. [4]

III-3-2-3-Enchaîner :

On introduit dans la structure de la terre une matrice tridimensionnelle inerte et résistante qui va s'opposer à tout mouvement de la terre. Il s'agit d'une action de consolidation par cimentation qui résulte d'un remplissage des vides par un liant insoluble capable d'enrober les particules dans une matrice inerte. Le principal stabilisant qui agit selon ce mécanisme est le ciment Portland. Des résultats similaires sont obtenus avec des solutions électrolytes de sel de silicate de sodium ou encore avec certaines résines et colles. Du point de vue de la réaction chimique, la caractéristique essentielle de ce mécanisme de stabilisation est que la formation de la matrice inerte demeure relativement indépendante de l'argile.

En effet, les principales réactions de consolidation ont lieu dans le stabilisant lui-même et entre le stabilisant et la fraction sableuse de la terre. On observe cependant des réactions secondaires entre le stabilisant et la fraction argileuse. La quantité et la qualité de l'argile agissent sur l'efficacité de la stabilisation et peuvent modifier le comportement mécanique du matériau. [4]

III-3-2-4-Lier :

Dans ce cas, la matrice inerte introduite dans la terre inclut les argiles. On connaît deux mécanismes qui donnent le même résultat:

1 - Une matrice inerte est formée par les argiles : on utilise les charges négatives et Positives des plaquettes argileuses ou leur composition chimique pour les lier entre elles par l'intermédiaire d'un stabilisant qui joue le rôle de lien ou le rôle de catalyseur de cette liaison. Certains stabilisants chimiques agissent dans ce sens quelques acides, polymères, flocculants, etc.

C'est une réaction lente essentiellement dépendante de la quantité et de la qualité d'argile. [4]

2 - Une matrice inerte est formée avec les argiles. Un stabilisant réagit avec l'argile et forme un nouveau matériau insoluble et inerte par précipitation, une sorte de ciment: c'est une réaction pouzzolanique notamment obtenue avec la chaux. [4]

III-3-2-5-Imperméabiliser : Ce mode de stabilisation contribue à réduire l'érosion à l'eau, le gonflement et le retrait aux cycles répétés de mouillage séchage.

- Tous les vides, les pores, les fissures et microfissures sont remplis d'une matière qui est insensible à l'eau. Le bitume est l'exemple d'un des meilleurs produits qui agissent dans ce sens. Cette méthode de stabilisation convient particulièrement pour les terres sableuses qui présentent une bonne stabilité de leur volume et qui sont peu affectés par les mouvements de l'eau. Elle est également utilisable pour les terres silteuses et argileuses qui réclament une plus grande quantité de stabilisant du fait de leur surface spécifique plus importante. [4]

III-3-2-6-Hydrofuger: Dans ce cas, on intervient sur le mouvement et de la vapeur d'eau dans la terre, soit en changeant sa nature, soit en réduisant la sensibilité des plaquettes d'argile à ce dernier.

On dénombre trois systèmes :

A- modifier l'état de l'eau interstitielle: en séchant le sol par l'introduction de chlorure de calcium qui augmente la tension de surface, diminue la pression de la vapeur d'eau et le taux d'évaporation, réduisant ainsi les variations de quantité d'eau. [4]

B - Par échange ionique: les ions sont remplacés par d'autres jusqu'à ce qu'une quantité d'ions soit très fortement fixée sur les plaquettes d'argile et que l'eau ne peut délayer. Certains acides activent ce phénomène. [4]

C - Sur la surface des plaquettes d'argile qui se situent à l'extérieur d'agrégats compacts, on provoque la fixation de molécules par une de leurs extrémités. Les autres extrémités de ces molécules sont très hydrofuges. C'est le cas de certaines amines quaternaires et résines. [4]

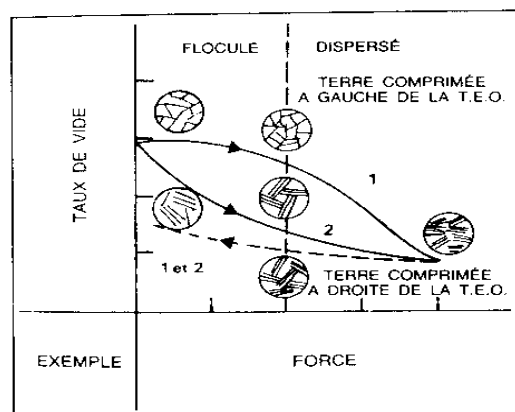
III-3-2-7-Densification par compression: Pour tous les matériaux de terre, on constate une relation directe entre la masse volumique sèche et la résistance à la compression. Celle-ci est plus élevée quand le matériau est compact.

Durant le processus de rupture, la déformation adopte le chemin qui réclame le moins d'énergie possible, en général balisé par des macros pores. Il convient donc que les pores du matériau soient très petits et distribués de façon très homogène. Rares sont les terres naturellement compactes qui peuvent être extraites sous forme de blocs. On dispose le plus souvent de terres qu'il faut remanier. Le soin apporté à ce remaniement, qui conditionne la répartition des pores et leur grosseur, agira sur le comportement du matériau. [4]

A- Méthodes de compression: Il en existe principalement quatre :

- La compression statique ; La compression dynamique par vibration; La compression dynamique par impact- ; La compression par pétrissage.

A chacune de ces méthodes correspond une Teneur en Eau Optimale (T.E.O.) pour laquelle on obtient une masse volumique sèche optimale.



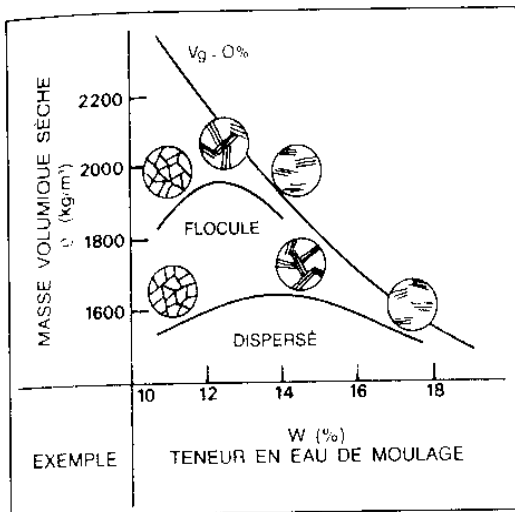
**Fig. 3 – 2 : Influence du mode de compression
Sur le taux de vide.**

Chaque méthode de compression présente des avantages et des défauts. Par exemple, le pétrissage favorise une bonne distribution des pores et une homogénéité de leur grosseur dans le produit final, contribuant à réduire sa perméabilité. Mais l'on constate que la résistance au cisaillement est

moindre quand on comprime du côté humide que celle obtenue avec les autres méthodes de compression. Cette résistance est également tributaire de la texture de la terre. [4]

B- Paramètres du compactage:

- ✓ Energie de compactage: quels que soient le type de terre et la méthode de compression, une plus grande énergie de compactage diminue la T.E.O. et augmente la masse volumique sèche. Mais de trop fortes énergies de compactage peuvent produire des effets néfastes: laminage des blocs. [4]
- ✓ Texture de la terre: les granularités étroites ne donnent pas de fortes compacités. Par contre, les granularités étalées donnent des courbes de compactage à maxima accentués. [3]



C- Effets de compactage:

On observe deux types principaux de structure des argiles selon l'importance des forces de répulsion ou d'attraction :

Structure dispersée: les plaquettes d'argile sont distantes du fait de forces de répulsion prédominantes. Elles ont tendance à être parallèles.

L'état dispersé correspond à des teneurs en eau élevées, à droite de l'optimum, sur la courbe de compactage. [4]

Fig. 3-3 : Influence de la teneur en eau de Moulage sur la Masse volumique sèche.

- ✓ Structure floculée: les plaquettes d'argile se rapprochent et forment entre elles des Angles importants du fait de forces d'attraction prédominantes. L'état floculé correspond à des teneurs en eau faibles, à gauche de l'optimum, sur la courbe de compactage. Ainsi l'optimum de compactage est un état pour lequel les forces d'attraction sont suffisantes. [4]

Pour permettre une bonne compacité alors que les forces de répulsion facilitent une mise en ordre des particules. Pour un compactage effectué dans de bonnes conditions, les effets sont une diminution de la perméabilité, de la compressibilité, de l'absorption d'eau et du gonflement d'eau en ambiance humide, ainsi qu'une augmentation des résistances mécaniques initiales et à long terme du matériau : [4]

■ Compressibilité:

Tant que la contrainte exercée n'excède pas une certaine valeur, un matériau à structure floculée est moins compressible qu'un même matériau à structure dispersée. Les deux matériaux tendent vers le même état et une même compressibilité si la pression devient suffisante pour permettre un réarrangement des particules. [4]

■ Absorption d'eau et gonflement en ambiance humide:

Ils sont plus importants pour un matériau compacté à l'état floculé et moindre pour un état dispersé. [4]

- Compactage trop poussé:

Quand la terre approche un état de saturation, l'incompressibilité de l'eau rend illusoire, l'action d'un surcroît de compactage qui n'a alors plus d'effet sur l'arrangement des particules.

Note:

Le compactage conditionne pour beaucoup le succès de toute méthode de stabilisation mais il ne faut pas oublier que les améliorations obtenues par le compactage s'annulent pour la plupart en ambiance humide. [4]

III-3-2-8- Densification par gradation :

III-3-2-8-1- Texture recherchée:

Pour obtenir la meilleure résistance d'une terre, tant aux sollicitations mécaniques qu'à l'action de l'eau, il faut :

- réduire la proportion de vides ;
- multiplier les contacts entre les grains.

Pour des grains sphériques, il est possible de calculer la proportion relative de chaque fraction de grains de diamètre différent s'arrangeant en un milieu le plus dense possible. On emploie la formule de Fuller: $p=100 (d/D)^n$.

p = proportion de grains d'un \emptyset donné.

d = \emptyset des grains pour la proportion p visée. D = \emptyset du grain le plus gros.

n = \emptyset coefficient de gradation.

$n = 0,5$ pour des grains tous sphériques. Mais dans la terre, si les sables et les graves sont éventuellement d'un \emptyset presque sphérique, les argiles s'en éloignent. Aussi, dans le domaine des travaux routiers où l'on emploie souvent des terres sableuses, on corrige le manque de sphéricité par un n à 0,33. En construction en terre, on prend $n = 0,20$ à 0,25. [4]

III-3-2-8-2-Correction de texture:

Les terres disponibles peuvent être améliorées par correction granulaire. Il est possible de corriger une teneur trop forte ou trop faible en graves, en sables ou en fines, soit par apport de fractions faisant défaut, soit par exclusion de fractions en excès. [4]

- Terre trop riche en graves:

Pour corriger la texture d'une terre trop riche en graves, il suffit de l'écrêter par tamisage en enlevant les éléments les plus gros. Un épierrement manuel préalable des plus gros cailloux peut être nécessaire. [4]

- Terre trop riche en fines:

Une terre de ce type peut être améliorée en enlevant les fines par lavage. Néanmoins, cette technique demeure très difficile à contrôler car on risque d'enlever la totalité des fines. Il est préférable de laver entièrement une certaine quantité de terre puis, après séchage, de la mélanger avec la terre initiale. Cette procédure est délicate. Aussi, il conviendra plutôt de réaliser un mélange de la terre initiale avec une terre plus riche en éléments grossiers dont on s'assurera qu'elle ne contient ni fines, ni éléments d'un diamètre supérieur à la grosseur de grain maximale admissible. [4]

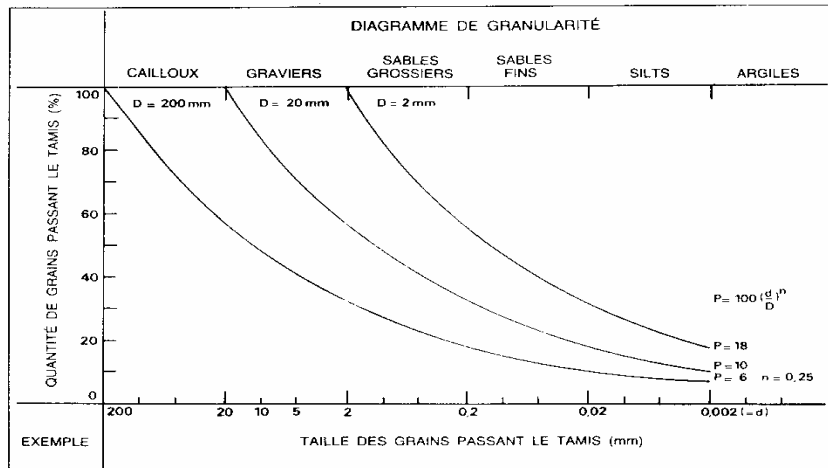


Fig. 3 –4: diagramme de granularité.

■ Terre à texture discontinue:

La texture discontinue d'une terre est caractérisée sur la courbe d'analyse granulométrique. On peut en effet observer deux tracés caractéristiques.

-La courbe est plate pour une fraction de grains déterminée: cette fraction granulaire fait défaut dans la terre analysée. Il conviendra alors d'apporter à la terre les éléments de cette fraction manquante en juste proportion.

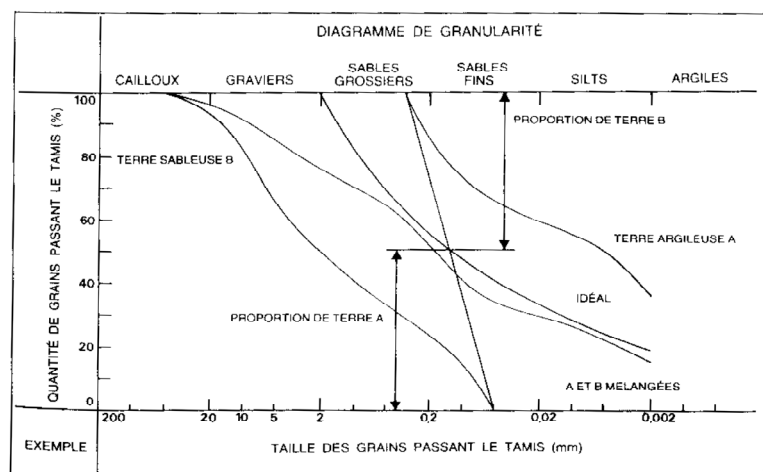
- La courbe décrit une ascension très nette pour une fraction de grains déterminée : cette fraction granulaire est trop abondante dans la terre analysée. Il conviendra alors d'exclure une partie de cette fraction par tamisage ou d'équilibrer cet excès par un apport d'autres fractions de grains.

Cette procédure ne sera entreprise que si elle s'impose vraiment pour l'obtention de la qualité recherchée du matériau. [4]

■ Terre très sableuse ou très argileuse:

Si les terres disponibles sont très différentes et particulièrement sableuses et argileuses, il sera nécessaire de les mélanger. On portera sur un même diagramme granulométrique les courbes des terres sableuses et argileuses ainsi que le tracé de la courbe optimale recherchée. On joindra par une droite le point le plus bas sur la courbe de la terre sableuse au point le plus haut sur la courbe de la terre argileuse. L'ordonnée du point d'intersection entre cette droite et la courbe optimale nous donne la proportion de la terre la plus fine à mélanger à la terre la plus grossière pour obtenir une texture qui approche celle de la courbe optimale. [4]

Fig. 3 – 5 : correction de granularité de terre par mélange

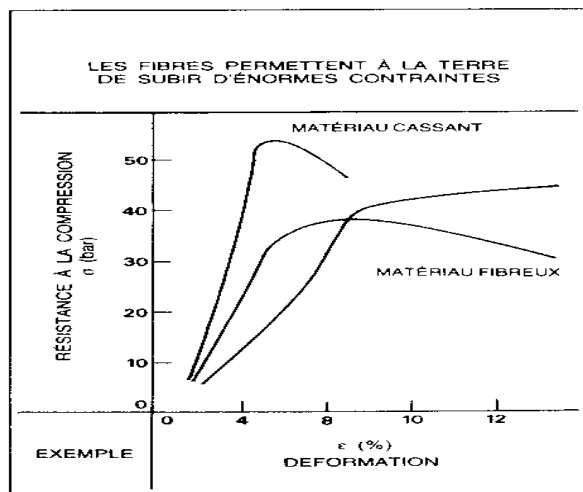


III-3-3-Les Matériaux de stabilisation :

III-3-3-1-Fibres :

A- Rôles des fibres:

- Empêcher la fissuration au séchage en répartissant les tensions dues au retrait de l'argile dans toute la masse du matériau.
- Accélérer le séchage grâce à un drainage de l'humidité vers l'extérieur par les canaux des fibres. Inversement, la présence de fibres augmente l'absorption en présence d'eau. [4]
- Alléger le matériau. Le volume de paille est souvent très important, allégeant la masse volumique du matériau et améliorant ses propriétés d'isolation.
- Augmenter la résistance à la traction ; sans doute le plus grand intérêt des fibres. [4]



**Fig. 3-6 : Influence des fibres sur la teneur de sable
Et le mode de compactage sur la résistance mécanique.**

■ Mécanismes:

Les matériaux de terre renforcés de fibres possèdent un degré élevé de résistance à la fissuration et à la propagation des fissures. En effet, au niveau d'un plan de clivage potentiel, les fibres s'opposent au clivage au fur et à mesure de l'augmentation de la contrainte.

Le degré de résistance au cisaillement dépend pour beaucoup de la résistance à la traction des fibres. En outre, une bonne résistance à la compression peut être obtenue grâce à une armature de fibres, qui dépend à la fois de la quantité de fibres employée et de la résistance à la compression initiale de la terre, de la résistance à la traction initiale des fibres et de la friction interne entre les fibres et la terre.

Quelques recherches laissent supposer qu'un pourrissement préalable de la paille dans la terre, durant quelques semaines, produit de l'acide lactique qui agit secondairement sur l'efficacité de la stabilisation. [4]

■ Aspects pratiques:

La résistance des blocs armés dépend de la quantité de fibres ajoutées mais il y a une quantité optimale à ne pas dépasser. Car une quantité trop importante allège trop la masse volumique. Le nombre de points de contact entre les fibres et la terre, qui transmettent les déformations, est alors très réduit, diminuant la résistance du bloc. On

commence à obtenir des résultats satisfaisants à partir d'un dosage à 4 % en volume. Des quantités de 20 à 30 kg/m³ sont très courantes. La paille est de préférence coupée en brins de 4 à 6 cm. [4]

▪ Recherches:

Très peu d'organismes étudient scientifiquement le comportement de la terre stabilisée aux fibres. Quelques recherches ont été faites à l'Université de Téhéran (Iran), au C.S.T.B. (France) et à l'Université d'Ife (Nigeria). [4]

B- Variétés de fibres:

- Fibres végétales: paille de toutes espèces: orge, seigle, blé, froment, escourgeon, lavande.

Balle des céréales : riz, blé, orge, etc. Charges légères telles que sciure de bois et copeaux.

Foin, chanvre, mil, bagasse, fibres de noix de coco, sisal, manille, herbe d'éléphant, fibres de palmier, de bambou, d'hibiscus. Débris du teillage du lin ou de chanvre, etc.

- Fibres animales: poils et crins du bétail.
- Fibres synthétiques : cellophane, acier,

III-3-3-2-Ciment :

A- Brève histoire:

Les premières tentatives de stabilisation au ciment, dans le domaine routier, ont lieu aux U.S.A. en 1915. Un certain J.H. Amies dépose deux brevets pour ce type de matériau, en 1917 et 1920. La stabilisation au ciment, en construction de bâtiments, s'est développée indépendamment en Allemagne, dès 1920. Aux U.S.A. à partir de 1935, le soi ciment est de plus en plus employé: routes, pistes d'aérodromes. Depuis lors, dans le monde entier, on ne compte plus les applications de la stabilisation au ciment autant dans le domaine des travaux publics que dans celui du bâtiment. Ce matériau est aujourd'hui parfaitement maîtrisé. [9]

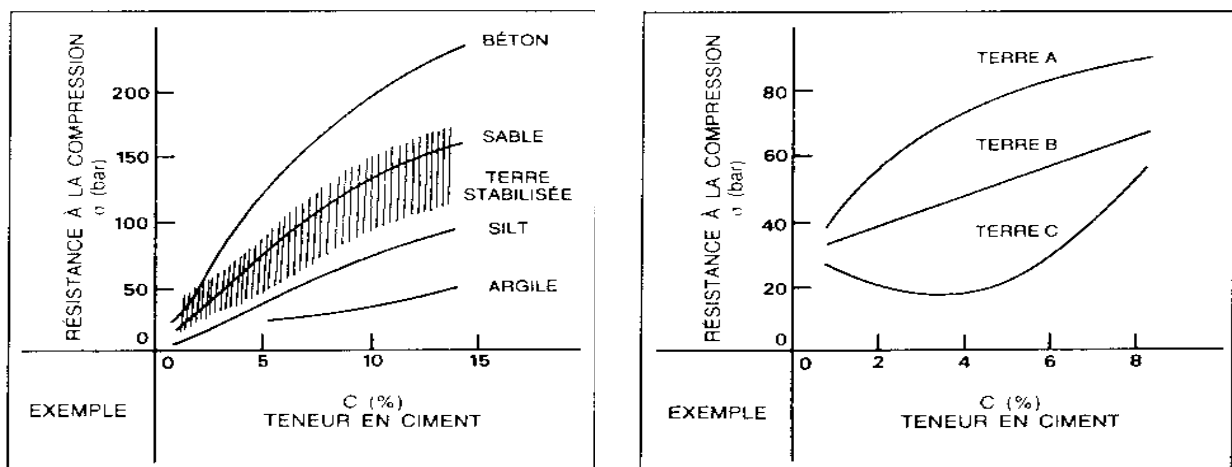


Fig. 3 – 7 : Influence de la teneur en ciment sur la repense mécanique du produit finie.

B- Efficacité et dosage:

La meilleure efficacité est obtenue par une compression à l'état humide. A l'état plastique, il faudrait 50% de ciment en plus pour une même efficacité. Les meilleures résistances à la compression sont atteintes avec des graves et des sables plutôt qu'avec des silts et des argiles.

Pour la terre, les dosages dépendent de sa texture et de sa structure, du mode de mise en oeuvre. 6 à 12 % donnent de bons résultats, certaines terres n'exigent que 3 % et d'autres, au même dosage, se comportent moins bien que sans ciment.

En général, il faut au moins 6 % de ciment pour obtenir des résultats satisfaisants. La résistance en compression reste très dépendante du dosage. [9]

C- Effets:

- Masse volumique sèche: elle diminue pour les terres qui se compactent bien; elle augmente pour les terres qui se compactent médiocrement. [9]
- Résistance à la compression sèche et humide : l'influence du ciment sur ce paramètre est fonction de la masse volumique sèche, de l'indice des vides: $e = (PS - Pd) / Pd$, de I_p et de L_i et de M (proportion d'éléments de $0 < 0,4$ mm en %) d'après des études de l'E.I.E.R. de Ouagadougou (Burkina Faso). [9]
- Résistance à la traction : elle varie de 1/5 à parfois 1 / 10 de la résistance à la compression.
- Variations dimensionnelles: la stabilisation au ciment diminue l'importance du retrait au séchage et du gonflement à l'humidification. [9]
- Erosion : amélioration de la résistance des terres à l'érosion sous l'action de la pluie surtout lorsque la terre contient de gros grains.

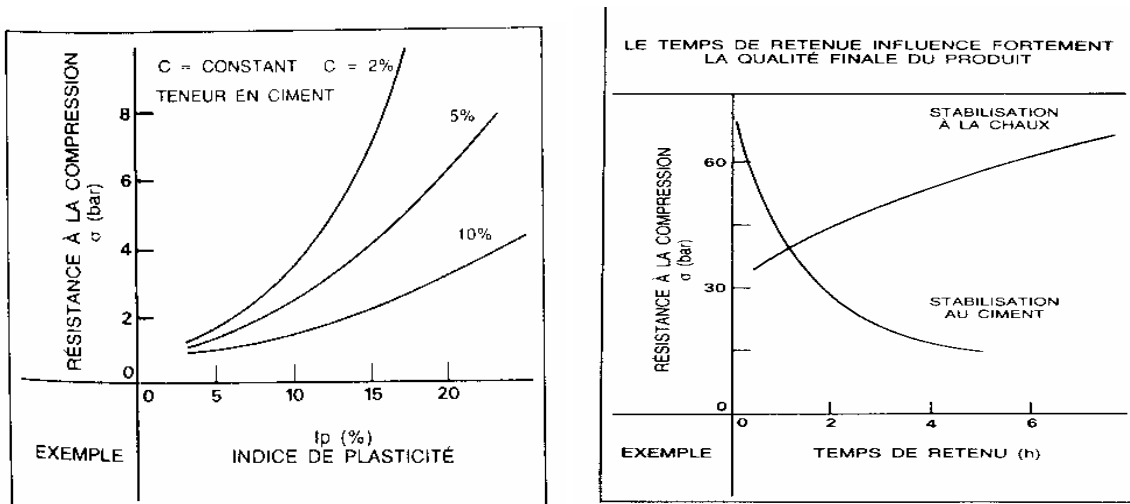
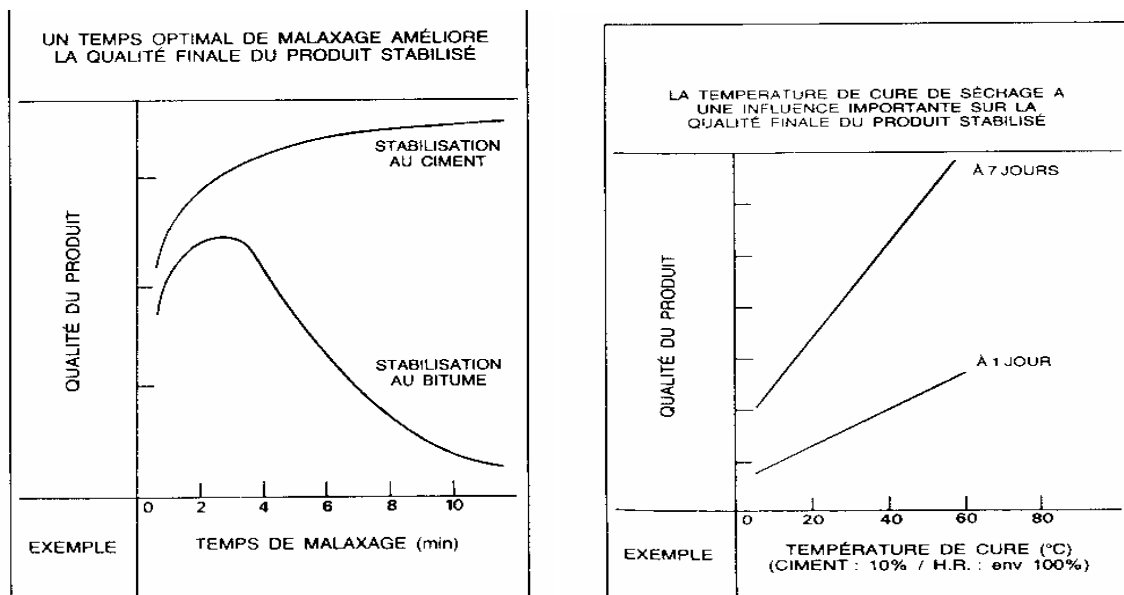


Fig. 3 – 8: Influence du type et la teneur en ciment ; Le temps de retenu sur la résistance mécanique du produit finie.



D - Mise en œuvre :

- Pulvérisation:La qualité d'une stabilisation au ciment exige un mélange intime des constituants. Les éléments fins ne doivent pas trop s'agglomérer en modules dont la grosseur n'excédera pas 10 mm. La présence de 50 de modules de grosseur > 5 mm peut réduire la résistance à la compression de moitié. [9]
- Malaxage:La bonne répartition du ciment et l'homogénéité du matériau stabilisé sont conditionnés par le malaxage. Il importe de disposer d'une terre sèche pour réunir les meilleures conditions de malaxage. [9]
- Moulage, mise en forme:Le matériau sera compacté juste après le malaxage, avant le début de la prise du ciment et à une teneur en eau contrôlée, proche de l'optimum.
- Séchage:La résistance d'une terre ciment croît avec l'âge.14 jours de cure de séchage sont absolument indispensables, 28 jours valent mieux. Pendant cette période, le matériau sera maintenu en ambiance humide, à l'abri du soleil et en prenant garde au vent: risque de dessèchement trop rapide en surface pouvant provoquer la formation de fissures de retrait. Les matériaux seront séchés en configuration compacte, humidifiés par aspersion ou recouverts d'une feuille de plastique qui maintient une élévation des températures tout en donnant une humidité relative proche des 100 %. La durée de cette cure de séchage humide augmentera la résistance du matériau. [9]

III-3-3-3-Chaux :

A- Brève histoire:Il semble que l'emploi systématique de la chaux pour la stabilisation des sols ait été seulement développé à partir de 1920, aux U.S.A. Ce sont depuis lors des millions de mètres carrés de routes qui ont été réalisés en sol traité à la chaux et l'expérience acquise est très importante. La construction récente de l'aéroport de Dallas - Fort Worth, ouvert en 1974, qui couvre une superficie de 70 km' est l'une des applications les plus spectaculaires de cette technique: 300 000 tonnes de chaux ont été

Employées pour les travaux de stabilisation. [4]

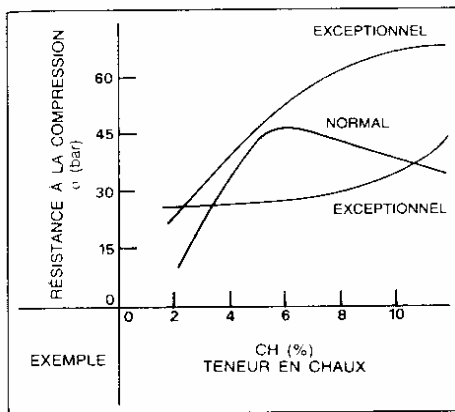


Fig. 3 – 10: Influence de la teneur en chaux sur la

Résistance mécanique du produit fini.

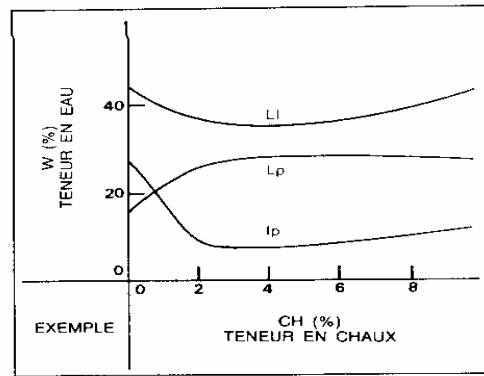
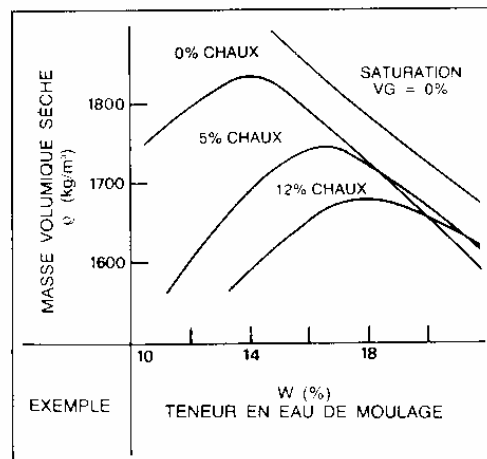


Fig. 3 – 11: Influence de la teneur en chaux sur la

Teneur en eau.



Pour un ajout à la terre de 1 % de chaux vive, la réaction exothermique d'hydratation assèche la terre en évacuant environ 0,5 à 1 % d'eau.

2 à 3 % de chaux ajoutée provoquent immédiatement une diminution de la plasticité de la terre et un présage des mottes ; cette réaction est appelée point de fixation de la chaux. Pour des stabilisations ordinaires, on pratique en général des dosages de 6 à 12 équivalents à ceux pratiqués avec le ciment, mais on notera que pour la chaux, il existe une quantité optimale pour chaque terre. [4]

C-Effets :

1- Masse volumique sèche: pour une compression donnée, la chaux réduit le Poids max. et élève la T.E.O., du fait de la floculation.

2- Résistance à la compression : le dosage optimal de chaux doit être précisé par des essais préalables. R_c tend à croître avec l'âge du produit.

On obtient facilement des R_c de 20 à 50 bars et 200 à 400 bars avec des procédés industriels.

3- Résistance à la traction : elle est très influencée par la quantité et la qualité des argiles contenues dans la terre, qui réagiront avec la chaux.

4-Variations dimensionnelles: 1 à 2 % de chaux seulement peuvent réduire le retrait de 8 à 10 % jusqu'à 1 % et supprimer le gonflement. Des procédés industriels sophistiqués emploient de hautes pressions et un traitement à la vapeur en autoclave avec des dosages allant jusqu'à 20 %.

Les produits obtenus sont similaires à ceux de l'industrie silico-calcaire. La stabilisation à la chaux est particulièrement bien adaptée au procédé de moulage par compression. [4]

D- Mise en œuvre :

▪ Pulvérisation:

Cette opération est importante et doit être effectuée avec grand soin. Plus l'argile sera finement brisée, plus la chaux sera active dans son action d'attaque de l'argile. L'opération peut être difficile car l'argile présente une forte cohésion.

Une terre trop humide peut être asséchée et brisée avec de la chaux vive. La stabilisation sera efficace si au moins 50 % des agglomérats argileux sont broyés au $0 < 5\text{mm}$. [4]

▪ Malaxage :

Il devra être très soigné pour assurer un mélange intime de la terre et de la chaux. Pour les terres très plastiques, on pourra procéder en deux étapes, espacées d'un à deux jours, qui permettront à la chaux d'ameublir les mottes ; ce procédé en deux étapes peut néanmoins réduire l'action de la chaux sur la résistance.

On peut contrôler l'homogénéité du mélange en appréciant l'unité de sa teinte, aucune traînée de chaux non incorporée dans la terre ne devra apparaître. [4]

▪ Temps de retenue:

Si la mise en œuvre se fait par voie humide, le mélange peut être laissé avantageusement au repos après le malaxage. On attendra au moins deux heures pour des dosages en chaux supérieurs au point de fixation de la chaux; huit à seize heures sont préférables.

L'effet est négligeable sur la masse volumique sèche mais les résistances obtenues sont supérieures. [4]

Si l'on procède par voie plastique, on a intérêt à laisser réagir le mélange de terre et de chaux vive ou éteinte pendant plusieurs semaines. C'est notamment le cas pour les enduits qui deviennent plus onctueux et collants. [4]

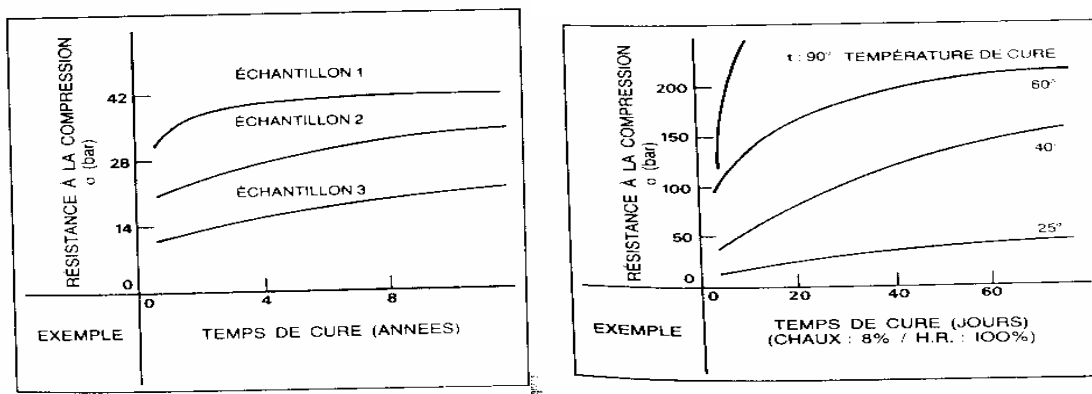


Fig. 3 – 13: Influence de temps de cure et la teneur en chaux sur la résistance a la compression.

▪ Compression:

La masse volumique sèche est très sensible au compactage, surtout pour des dosages en chaux élevés. La teneur en eau de compactage sera proche de l'optimum, du côté humide, après un temps de retenue suffisant du mélange (plus long pour les dosages élevés).

La réaction exothermique provoquée par la chaux vive consomme près de 1 % de teneur en eau par % de chaux vive ajoutée. On corrigera donc la teneur en eau pour approcher la T.E.O. lors de la deuxième étape de malaxage. [4]

▪ Cure de séchage:

On constate une augmentation de la résistance à la compression avec l'allongement du délai de cure. Ce phénomène s'étend sur plusieurs semaines et persiste pendant de longs mois, évoluant d'autant mieux dans une ambiance chaude et humide.

Les produits de terre stabilisés à la chaux peuvent être très avantageusement exposés à de hautes températures ($> 60^{\circ}\text{C}$). Une cure de séchage sous le soleil et sous un film de plastique ou sous un tunnel de tôles permet cette élévation de la température et de l'humidité relative. Des recherches menées à l'Université du Danemark ont montré que l'on obtient de très bons produits avec une cure de 24 h en chambre de haute pression de vapeur à $60-97^{\circ}\text{C}$ et à 100 % de H.R. [2]

III-3-3-4- Bitume :

A- Histoire:

Le bitume est souvent associé à l'idée de revêtement routier mais ne doit pas être confondu avec l'asphalte, les goudrons, le macadam, etc. L'emploi du bitume comme stabilisant est très ancien. L'historien grec Hérodote évoque son emploi à Babylone au V^{ème} siècle pour la confection du mortier de pose des briques crues moulées. Mais l'application du bitume, au cours de l'Histoire, est restée limitée. Ce n'est que très récemment que ce produit a été développé par les grandes industries pétrolières, à partir des années quarante, aux U.S.A. [4]

Des briques stabilisées furent commercialisées sous le nom de "Bitudobe" ou "Asphadobe". Le domaine des travaux publics exploitait ce procédé de stabilisation pour la construction de routes. En Algérie, plus de 28 000 km de routes ont été réalisés avec cette matière. Aujourd'hui, aux U.S.A., l'adobe stabilisé au bitume est un matériau de construction très développé ainsi qu'en Amérique centrale et latine.

Des tentatives récentes de transfert de cette technologie en Afrique n'ont pas connu de succès même dans les pays producteurs de pétrole. L'emploi du bitume, qui était considéré il y a quelques années comme un produit miracle capable de résoudre définitivement les problèmes de stabilisation, est aujourd'hui en régression du fait de la hausse des produits pétroliers. [4]

B- Mécanismes:

Les cut-backs ou les émulsions bitumineuses se présentent sous la forme de globules microscopiques en suspension dans un solvant ou dans l'eau.

Le stabilisant est mélangés à la terre puis, lorsque le solvant ou l'eau s'évapore, les globules de bitume s'étirent en films solides très fins qui adhèrent aux particules de la terre et les enrobent. Le bitume améliore la résistance de la terre à l'eau (moins d'absorption des argiles) et peut apporter une cohésion aux sols naturellement peu cohésifs, en jouant le rôle de liant. [4]

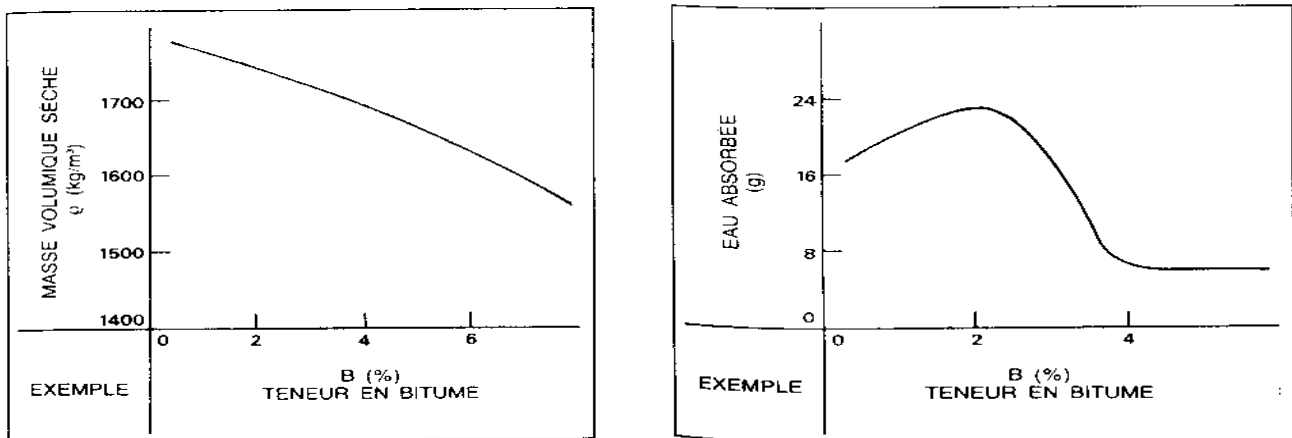


Fig. 3 – 14 : Influence de la teneur en bitume sur l'absorption d'eau et la masse volumique sèche.

C- Efficacité et dosage:

Pour obtenir une distribution homogène du bitume dans la terre, il est préférable d'utiliser un procédé qui réclame beaucoup d'eau. C'est donc la technique de l'adobe qui convient le mieux.

Les dosages classiques sont de 2 à 3 %, pouvant aller jusqu'à 8 %. Ces dosages varient suivant la granularité de la terre car l'efficacité de la stabilisation au bitume est liée à l'enrobage de la surface spécifique des particules. Ces valeurs de dosage concernent le bitume non dilué dans un solvant ou dans une solution aqueuse. Le bitume n'affecte que très légèrement la teinte du matériau et ne restitue aucune odeur caractérisée après le séchage des produits stabilisés. [4]

D- Paramètres d'efficacité:

La stabilisation au bitume est la plus efficace pour des terres sableuses ou silteuses.

Elle ne convient pas bien pour les terres fines des régions arides dont le pH et la teneur en sels dissous sont élevés. [4]

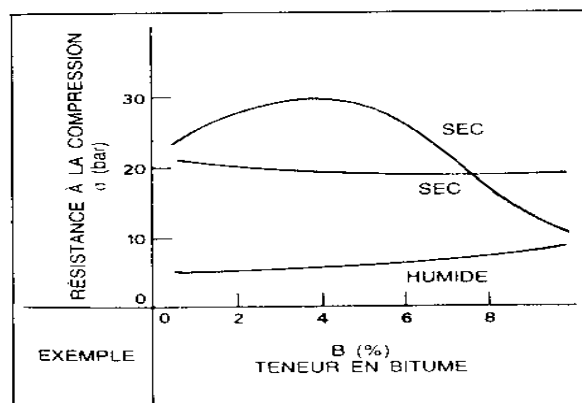


Fig. 3 – 15 :

Influence de la teneur en bitume sur la résistance à la compression.

- **Matières organiques et sulfates** : leur présence dans la terre gêne l'efficacité de la stabilisation au bitume car leur adhérence aux Particules nuit à l'adhérence du bitume. Les matières organiques acides (terres de forêts) sont très néfastes. Les matières organiques neutres et alcalines des régions arides et semi-arides ne sont pas particulièrement nuisibles. [4]

- Sels: les sels minéraux sont très néfastes .Ils peuvent être neutralisés en ajoutant 1 % de ciment. Dans la stabilisation industrielle au bitume, on n'accepte pas plus de 0,2 % de sels mais on peut parfois accepter jusqu'à 6 % de chlorure de sodium (Na Cl). [4]

E- Effets:

- Masse volumique sèche : le bitume provoque une baisse de la densité et accroît la teneur optimale en liquide (eau + bitume).
- Résistance à la compression : à l'état sec, elle augmente avec la proportion de bitume jusqu'à un certain seuil au-delà duquel elle chute dangereusement car le bitume en excès joue le rôle de lubrifiant une fois l'enrobage idéal réalisé. A l'état humide, la résistance croît régulièrement avec la quantité de bitume, indépendamment de la résistance à sec.
- Absorption: elle est fonction de la teneur en eau durant le malaxage et devient très faible à partir d'un certain seuil qu'il convient de déterminer. Après un séchage de quelques jours, l'absorption d'eau reste stationnaire dans le temps.
- Gonflement: il est fonction de la teneur en liquide au malaxage. Plus le malaxage est effectué à l'état liquide, moins on observe de gonflement. [4]

G- Mise en oeuvre :

- Malaxage: Cette étape conditionne beaucoup l'efficacité de la stabilisation au bitume. Un excès de malaxage peut augmenter l'absorption d'eau après séchage du fait d'une rupture prématurée de l'émulsion. Si le malaxage se fait à l'état liquide ou plastique (adobe, bauge, mortier, enduit), il ne présente aucune difficulté. [4]

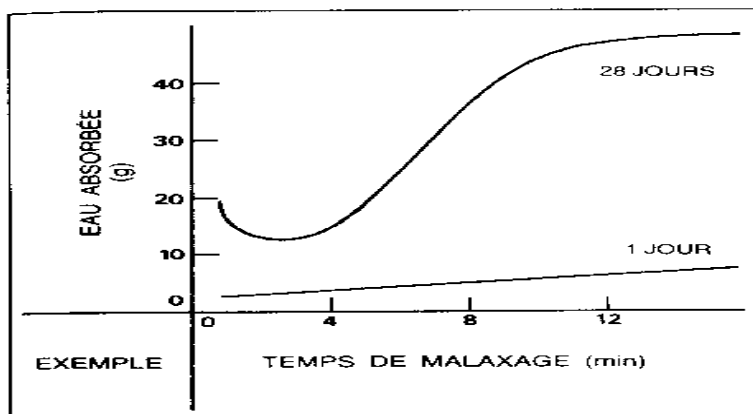


Fig. 3 – 16 : Influence du temps de malaxage sur l'absorption d'eau.

En revanche, si la terre doit être compactée - pisé, blocs comprimés -, le malaxage se fera à une teneur en eau très proche de l'optimum. Attention aux terres déjà humides pour ne pas rajouter du stabilisant (eau + bitume) en excès. Le malaxage est plus difficile à la T.E.O, la résistance humide et l'imperméabilité pourront être moins bonnes mais le compactage et le démoulage seront plus faciles ' rôle lubrifiant du bitume '. [4]

Il est préférable d'ajouter le bitume à une petite quantité de terre, puis de mélanger cette petite quantité au reste de la terre. Si l'on doit ajouter du sable à la terre, on ajoutera le bitume au sable, puis ce sable stabilisé au reste de la terre (surtout pour les cut-backs). Pour les émulsions, on les diluera

dans l'eau de gâchage. Ces méthodes de mélange sont très importantes pour de faibles dosages (p.e. 2 %) en bitume. [4]

▪ Temps de retenue:

Si l'on emploie des stabilisants bitumineux à rupture lente ou semi rapide, un délai d'attente est possible entre le malaxage et le moulage. Pour les produits à rupture rapide, les opérations se suivront sans tarder. [4]

▪ Compactage:

20 à 40 bars sont suffisants et confèrent au matériau une structure assez ouverte pour faciliter l'évaporation des solvants volatils tout en garantissant une bonne densité sèche. Au démoulage, le bitume jouant un rôle de lubrifiant, les blocs auront une belle apparence, arêtes vives.

- Cure de séchage: Les cut-back et émulsions à rupture rapide écourtent le délai de séchage. Il est préférable de faire sécher les matériaux stabilisés au bitume à l'air sec plutôt qu'en ambiance humide. Les résistances à la compression obtenues sont fonction du dosage en bitume et du délai de séchage.

Ces deux paramètres seront précisés par des essais préalables pour en connaître les valeurs optimales. La perte en éléments volatils est supérieure pour une cure assez longue et une température élevée qui a des effets bénéfiques sur l'absorption et l'expansion. Mais au-delà de 40°C on n'observe plus d'améliorations. [4]

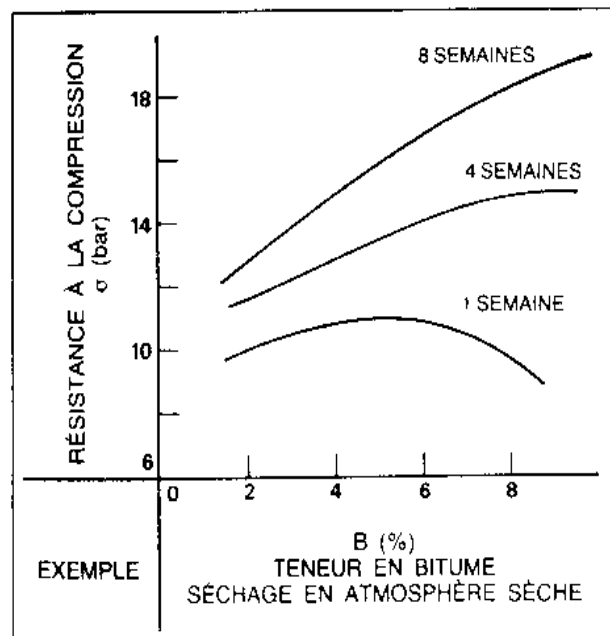


Fig. 3 – 17 : Influence de la teneur en bitume - séchage

En atmosphère sèche sur la résistance a la compression.

III-3-3-5-Résines :

Une grande partie des récents travaux de recherche s'est polarisée sur la stabilisation chimique par l'emploi de résines synthétiques, notamment dans le domaine des travaux publics. Les buts poursuivis visaient une augmentation de la résistance aux charges tout en réduisant l'épaisseur des couches de terre stabilisée. On recherchait une meilleure performance de résistance au cisaillement et une plus grande élasticité des couches de surface. Ces buts qui correspondent aux applications de travaux publics ne sont pas nécessairement intéressants pour les applications en construction de bâtiments, sauf pour certaines surfaces horizontales: pavements, dalles stabilisées. On a pu obtenir des performances assez extraordinaires avec la stabilisation aux résines mais il demeure un grand handicap de surcoût des procédés par rapport aux stabilisants usuels. [4]

A- Avantages:

Action énergétique, prise rapide, facilité d'incorporation dans la terre du fait d'une viscosité comparable à celle de l'eau, possibilité de solidifier des sols très humides. [4]

B- Désavantages:

Coût élevé, technologie de production sophistiquée réservée aux pays industrialisés, dosages de traitement souvent aussi importants que pour les stabilisants conventionnels, toxicité des produits, manipulation délicate requérant l'emploi de catalyseurs, sensibilité à l'eau et durabilité non assurées, produits biodégradables. [4]

C- Mécanismes et principes:

Les résines sont constituées de molécules à longue chaîne résultant de la liaison (polymérisation) de certains agents chimiques (monomères et polymères). On peut les employer de deux façons différentes:

- Les monomères sont ajoutés à la terre en même temps qu'un catalyseur: les réactions entre la terre et les monomères ainsi que la polymérisation sont immédiates ; c'est le cas des résines abiétiques par exemple. [4]
- Le polymère est formé au préalable par voie synthétique ou naturelle puis ajouté à la terre à l'état solide, en solution ou en émulsion.

Les résines agissent différemment, soit comme flocculant, comme dispersant, comme acide ou liant. Néanmoins la plupart des produits jouent le rôle d'imperméabilisant et ceux plus sophistiqués peuvent améliorer la cohésion de la terre. [4]

III-4-Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'avoir plus d'informations sur les différents stabilisants qui peuvent être utilisés dans ce domaine ainsi que les moyens, les principes et les mécanismes de stabilisation de la terre.

Les caractéristiques de très nombreuses variétés de terre peuvent être améliorées considérablement grâce à l'ajout de stabilisants. Mais, à chaque variété de terre correspond le stabilisant approprié. On dénombre à ce jour plusieurs produits employés pour la stabilisation des sols ou des terres à bâtir, ces stabilisants peuvent être employés aussi bien dans la masse des murs que dans leur "peau" dans les enduits par exemple.

Chapitre IV : Convenance, Performance et caractéristiques des terres

IV-1-Introduction :

A travers ce chapitre on aperçoit comment faire identifier le matériau terre avant de procéder à la stabilisation et par la suite à la production tant que l'expérience acquise à ce jour dans le domaine de la construction en terre est immense et loin d'être complète ou définitive, les critères de convenance actuels ne sont donc pas définitivement établis et ne sauraient être interprétés à la lettre.

On va citer quelques exemples d'abaques de référence qui sont empruntés au domaine des travaux routiers et s'adaptent assez bien à la construction en terre. On retiendra toutefois que beaucoup de ces critères, élaborés à un niveau régional, n'ont pas une valeur universelle. On pourra s'en inspirer par une nouvelle adaptation localisée. Ces critères de convenance ne fournissent pas des quantités précises et doivent être utilisés pour leur information qualitative.

Leur interprétation sera donc très souple, ainsi que leur adaptation selon des plages de valeurs qui peuvent être plus ou moins élargies, tout en donnant de bons résultats. Néanmoins, ces critères devront être interprétés par des personnes expérimentées qui sont à même d'évaluer les conséquences de leur application.

Les tests et essais de terrain et de laboratoire demeurent essentiels pour assurer la meilleure efficacité. Ces critères de convenance sont donc des bases d'orientation générale qui ne sauraient être considérées comme des normes ou même des recommandations définitives.

IV-2-Convenance des terres :

IV-2-1- Evaluation générale : *Peut-on construire avec cette terre ?*

On ne peut raisonnablement répondre aussitôt à cette question. Il est préférable d'adopter une approche jalonnée par des questions successives:

- Que va-t-on construire ? Un mur de clôture ? Une maison de plain-pied ? Un bâtiment à étages ? etc. - Où va-t-on construire? En région sismique? En région sèche ou pluvieuse? etc. -Comment va-t-on construire? Quelle technique? Quel savoir-faire disponible? etc. - Quelle destination d'emploi ? En mur porteur ou non porteur? En mur intérieur ou extérieur? En arc, en voûte ou en dôme ? En terrasse ? Avec ou sans enduit? Avec ou sans protection? etc. -Quels moyens disponibles? Peut-on stabiliser ou non ? Peut-on amender la terre ou non ? etc. [10]

En général, toute terre qui offre une bonne cohésion peut être employée en construction, mais il convient de bien s'assurer que l'on dispose de tous les moyens pour l'utiliser. Il faut aussi introduire une autre réflexion où la convenance de la terre est confrontée à la technique de construction, ou inversement, si le choix de la technique est posé par avance. Faut-il alors changer de terre si elle ne convient pas à la technique ou l'améliorer pour quelle convienne ? Faut-il changer de technique si elle ne convient pas à la terre disponible ou améliorer cette technique pour qu'elle convienne? Les critères de convenance et les abaques de références orienteront les choix mais leur emploi demeure souvent problématique. Leur interprétation doit être souple et faite par des personnes compétentes. Ainsi, lorsque les décisions théoriques sont prises, on confirmera les performances pratiques de la terre par des essais. [10]

IV-2-3-Les différentes formes de briques de terre:

IV-2-3-1-Pisé :

Les limites des zones recommandées sont approximatives. Les tolérances acceptables peuvent varier considérablement L'état des connaissances actuelles ne permet pas d'appliquer des limites précises. Il est généralement admis que beaucoup de terres qui ne s'inscrivent pas dans les zones recommandées donnent quand même des résultats acceptables en pratique. Toutefois les terres qui sont conformes donnent dans la plupart des cas des résultats satisfaisants. Les zones indiquées sont destinées à guider l'utilisateur et non à être appliquées comme des spécifications rigides. [10]

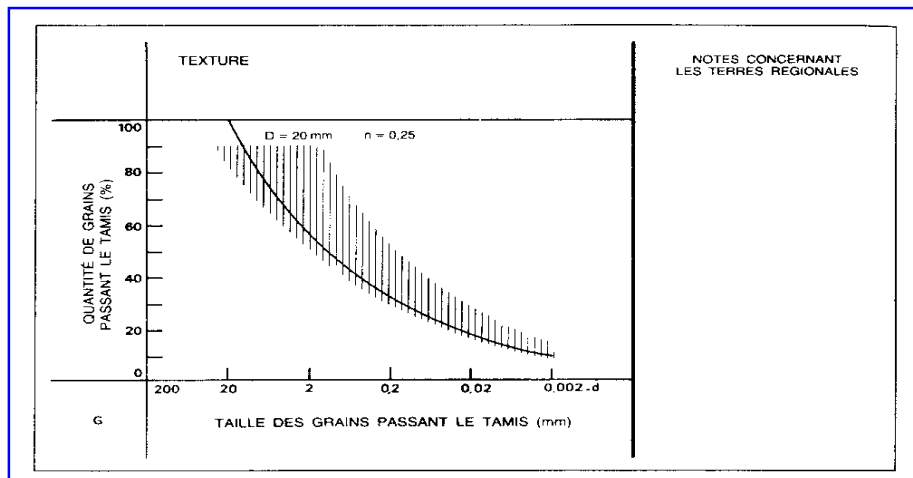


Fig. 4 – 1: *diagramme de texture de terre.*

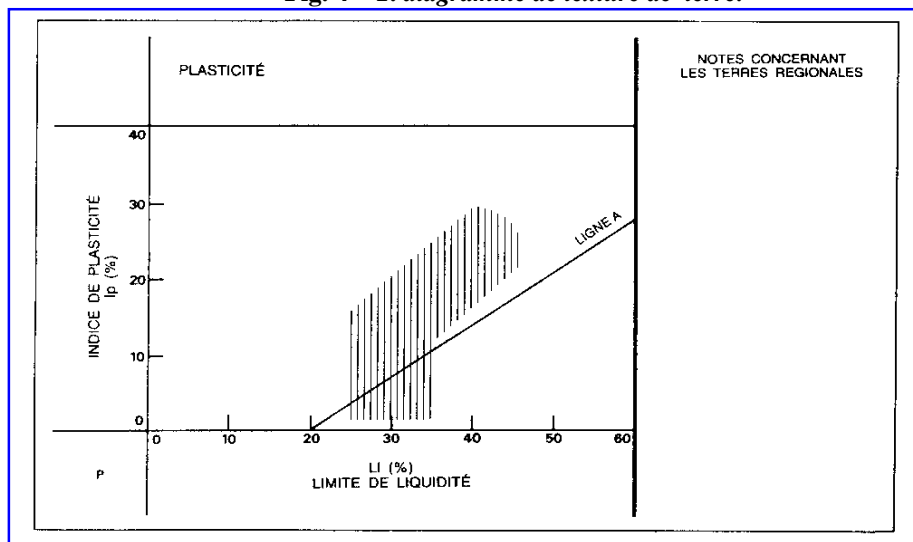


Fig. 4 – 2: *diagramme de plasticité de terre.*

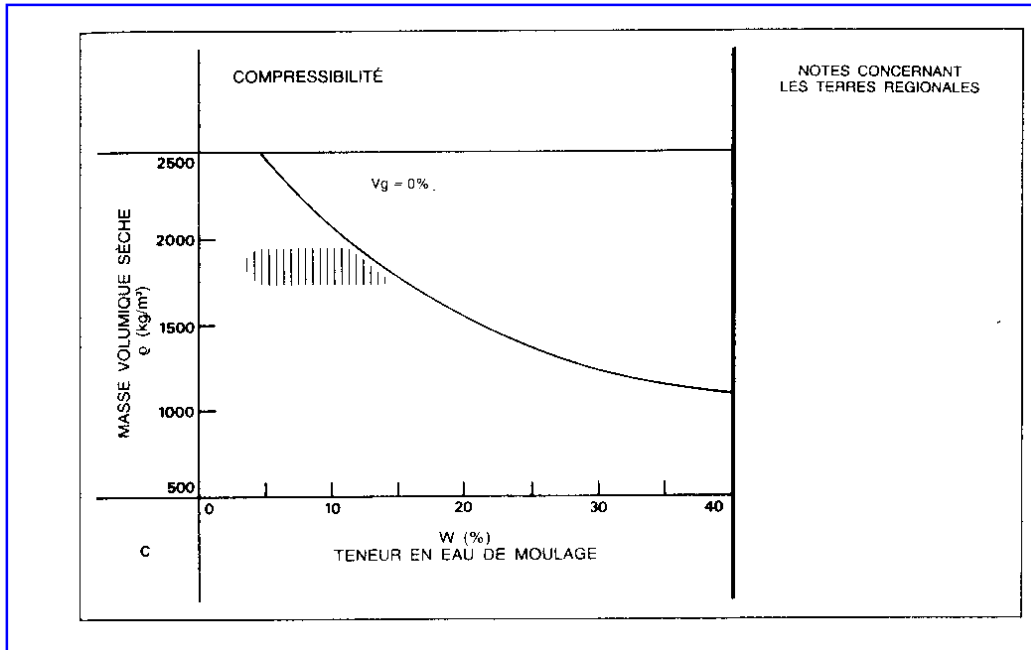


Fig. 4 – 3: diagramme de compressibilité de terre.

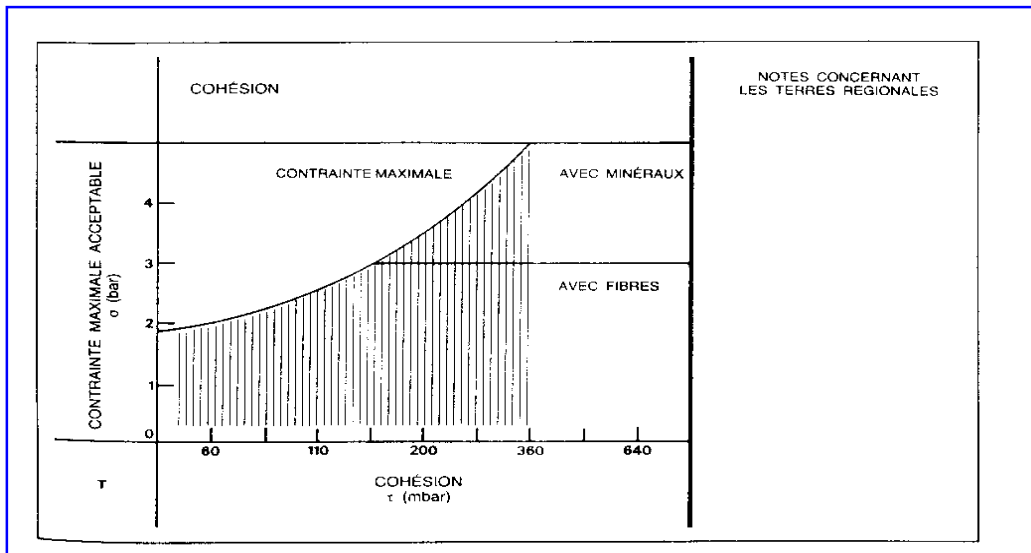


Fig. 4 – 4: diagramme de cohésion de terre.

IV-2-3-2-Adobe:

Les limites des zones recommandées sont approximatives. Les tolérances acceptables peuvent varier considérablement. L'état des connaissances actuelles ne permet pas d'appliquer des limites précises. Il est généralement admis que beaucoup de terres qui ne s'inscrivent pas dans les zones recommandées donnent quand même des résultats acceptables en pratique. Toutefois les terres qui sont conformes donnent dans la plupart des cas des résultats satisfaisants. Les zones indiquées sont destinées à guider l'utilisateur et non à être appliquées comme des spécifications rigides. [10]

IV-2-3-3-Blocs comprimés:

Les limites des zones recommandées sont approximatives. Les tolérances acceptables peuvent varier considérablement L'état des connaissances actuelles ne permet pas d'appliquer des limites précises. Il est généralement admis que beaucoup de terres qui ne s'inscrivent pas dans les zones

recommandées donnent quand même des résultats acceptables en pratique. Toutefois les terres qui sont conformes donnent dans la plupart des cas des résultats satisfaisants. Les zones indiquées sont destinées à guider l'utilisateur et non à être appliquées comme des spécifications rigides. [10]

IV-3- Stabilisation :

IV-3-1- Evaluation générale:

Lorsque les propriétés d'une terre ne sont pas tout à fait satisfaisantes, il est possible de recourir à la stabilisation pour obtenir une amélioration. La connaissance de la convenance générale des terres et une bonne maîtrise des techniques d'identification des terres orienteront les choix en matière de stabilisation. [4]

La règle générale établissant que "le ciment et le bitume conviennent aux terres sableuses et la chaux aux terres argileuses" est tout à fait valable mais ignore beaucoup d'autres méthodes de stabilisation. Il n'est pas moins vrai que les principales méthodes de stabilisation ont recours au compactage, aux fibres. Aux agrégats, au ciment, à la chaux ou au bitume. Il existe bien sûr beaucoup d'autres méthodes et produits mais, soit leur efficacité est moindre, soit ils couvrent un spectre moins large de terres. Par ailleurs ces autres méthodes et produits peuvent être trop chers et donc économiquement exclus. [4]

Les décisions peuvent être prises selon trois approches majeures :

- 1 - par référence à des abaques. Celles-ci provenant pour l'essentiel du domaine routier, on veillera à leur interprétation correcte.
- 2 - en réalisant des essais directs : mesures de retrait ou de pH, par exemple, qui permettent d'interpréter directement la convenance et le dosage en stabilisant.
- 3 - en réalisant tous les essais qui s'imposent sur des échantillons ou sur des briques échantillons. [4]

IV-3-1-1-Fibres minérales:

Il existe des critères d'utilisation applicables à des terres stabilisées aux fibres et aux minéraux. Ceux-ci ont été élaborés dans les années 40 et résultent de très longues recherches en laboratoire sur un très grand nombre d'échantillons. Cette connaissance de laboratoire fut par la suite enrichie de l'expérience accumulée en pratique de construction. Ces critères ont été depuis lors appliqués avec succès sur des milliers de réalisations. Mais ces critères, élaborés en Allemagne, sont surtout applicables aux terres de ce territoire, de qualité silteuse à base de loess. Il demeure possible d'adapter ces critères à d'autres types de terres mais sous condition d'une vérification sérieuse. [4]

Ces critères d'utilisation des terres stabilisées aux fibres ou par ajout de minéraux sont accompagnés de taux de compression maximale auxquels les matériaux peuvent être soumis et pour lesquels ils travaillent en toute sécurité. On pourra ainsi observer que les terres stabilisées avec des fibres ne sont pas supposées travailler à plus de 3 bars. Les terres stabilisées par ajout de minéraux travaillent à un maximum de 5 bars. [4]

Ce sont des valeurs de taux de compression maximales. Certains types de terres pourront ne pas atteindre ces performances. Aussi les valeurs données sur la courbe de performance ne devront pas

être interprétées comme des valeurs que l'on peut autoriser, mais plutôt comme des valeurs que l'on ne pourra pas dépasser. [4]

IV-3-1-2-Ciment :

Presque toutes les terres, exceptées celles qui sont trop chargées en matières organiques, peuvent être traitées au ciment et voir ainsi leurs propriétés nettement améliorées. Les terres riches en sels sont également difficiles à stabiliser au ciment mais très souvent une augmentation du taux de ciment apporte de bons résultats. Les terres qui ont une fraction argileuse importante se mélangent difficilement et exigent des quantités de ciment élevées. Pour des conditions de laboratoire très soignées au stade du mélange, on pourra obtenir de bons résultats avec des terres argileuses. Mais, en pratique, on évite de stabiliser au ciment une terre argileuse dont la limite de liquidité est supérieure à 50 et la teneur en argile supérieure à 30 %. Un prétraitement de ces terres très argileuses, à la chaux hydratée, pourra favoriser l'obtention de bons résultats avec du ciment ajouté dans un deuxième temps. De nombreux essais donnent des indications sur la convenance et le dosage du ciment tel que l'abrasion ; l'érosion ; humidification ; séchage et gel dégel. [4]

IV-3-1-3-Chaux :

La chaux n'a que peu d'effet sur les terres très riches en matières organiques (quantité supérieure à 20 %) et sur les terres manquant d'argile. Elle est en effet plus efficace et peut l'être davantage que le ciment, avec des terres argilo sableuses et surtout avec des terres très argileuses. Les effets de la chaux sont donc très dépendants de la nature des terres mais la comparaison avec les effets du ciment, dans de nombreux cas, pourra être tentée. On observe que la chaux réagit beaucoup plus vite avec des argiles du type montmorillonites qu'avec des argiles kaolinitiques, réduisant la plasticité des montmorillonites et n'ayant que peu d'effet sur la plasticité des kaolinites. [4]

L'effet de la teneur en eau des terres argileuses, stabilise à la chaux, est important, notamment aux stades de la pulvérisation et du compactage. Les pouzzolanes naturelles réagissent particulièrement bien avec la chaux. Notons par ailleurs que les dosages en chaux sont toujours donnés pour des chaux de qualité industrielle contenant 90 à 99 % de "chaux active". [4]

Pour les chaux artisanales, qui peuvent ne contenir que 60% de chaux active (le reste étant constitué d'incuits ou de surcuits), il faudra augmenter ces dosages. On retiendra deux modes principaux d'emploi de la chaux pour améliorer les performances d'une terre:

a- Modification de la terre : la chaux est ajoutée jusqu'au point de fixation. Cette opération réduit la plasticité de la terre et active sa flocculation.

b - Stabilisation de la terre : les dosages sont très supérieurs. Les abaques de référence sur la convenance des terres et le dosage en chaux doivent être interprétés avec beaucoup de réserve. Les essais l'abrasion ; l'érosion ; humidification ; séchage et gel dégel ne sont réalisés qu'après un temps de cure des matériaux de trois mois pour avoir des résultats satisfaisantes.

IV-3-1-4- Bitume :

Bien que des terres argileuses aient pu être traitées avec des cut-back ou des émulsions bitumineuses avec de bons résultats, la stabilisation au bitume est davantage indiquée pour les terres sableuses ou sablo- graveleuses, pour les terres manquant de cohésion ou lorsqu'une imperméabilisation est particulièrement recherchée. Dans les terres sableuses trop propres, la faible adhérence du bitume à

la surface des particules siliceuses peut entraîner un détachement du bitume sous l'action de pénétration de l'eau, réduisant ainsi considérablement l'effet stabilisant du bitume sur ce type de terre. Les terres humides ne sont en général pas adaptées à une stabilisation au bitume, à cause d'une difficulté à réaliser un bon mélange du bitume avec la terre. [4]

-Sels solubles : leur présence est susceptible de détériorer la terre par suite d'hydratations et de déshydratations successives. De plus, les sels ont tendance à créer des efflorescences. Par ailleurs, en présence de stabilisant comme le bitume, ils peuvent être très nuisibles pour les films de liaison entre le bitume et les argiles. La présence de sels dans une terre stabilisée au bitume ne doit pas dépasser 0,2 %, de préférence. [4]

- Dosage: l'I.I.H.T. (Californie, U.S.A.) recommande pour l'adobe de réaliser des tests en augmentant progressivement le dosage en bitume comme suit:

Cut-back: 2%,3%,4%,5%. Emulsion : 3 %,4 %,5 %,6 %.

Les essais sont réalisés chaque fois sur trois à quatre échantillons qui sont testés en compression, flexion et à l'essai d'arrosage jusqu'à obtenir de bons résultats. L'I.I.H.T. fait aussi remarquer que les terres trop argileuses qui exigent plus de 3 % de cut-back ou 6 d'émulsion ne sont pas adaptées à la fabrication d'adobes à cause d'un fort retrait. Pour les émulsions, en règle générale, on peut retenir :

Terres très sableuses: 4 à 6 %.

Terres peu sableuses: 7 à 12 %.

Terres argileuses: 13 à 20 %.

Le pourcentage concerne le bitume et ne tient pas compte du liquide de suspension. [4]

Les limites des zones recommandées sont approximatives. Les tolérances acceptables peuvent varier considérablement. L'état des connaissances actuelles ne permet pas d'appliquer des limites précises. Il est généralement admis que beaucoup de terres qui ne s'inscrivent pas dans les zones recommandées donnent quand même des résultats acceptables en pratique.

Toutefois les terres qui sont conformes donnent dans la plupart des cas des résultats satisfaisants. Les zones indiquées sont destinées à guider l'utilisateur et non à être appliquées comme des spécifications rigides. [4]

IV-4-Essais :

Le matériau terre peut être soumis à de nombreux essais qui, pour la plupart d'entre eux, ne sont pas normalisés ou même simplement réglementés. Du point de vue technique et scientifique, il est toujours intéressant de soumettre une terre et les matériaux de construction en terre à une gamme d'analyses, de tests et d'essais la plus complète possible. Mais on ne perdra pas de vue que le but principal est de construire avec la terre et non de multiplier les procédures d'analyses ou de contrôle. Ainsi, on tâchera, de préférence, de limiter la procédure d'analyses et d'essais à son minimum nécessaire mais suffisant pour garantir. [1]

Dans le sens de cette réflexion, le savoir-faire et l'expérience acquise, l'observation attentive des environnements construits en terre et les enseignements qui sont restitués permettent largement de réduire des procédures d'analyses fastidieuses, grandes consommatrices d'argent et de temps. Néanmoins, dans le doute, il est toujours recommandé de procéder à des essais. [1]

IV-4-1-Principe :

Le matériau terre peut être analysé et testé au travers de six catégories d'essais mais le passage dans chacun de ces filtres n'est pas toujours nécessaire. En effet, selon les terres analysées, selon la facilité que l'on aura à les caractériser, selon les conditions de travail, selon l'expérience de l'utilisateur ou du constructeur, il sera possible d'ignorer l'une ou l'autre des catégories d'essais. Toutes les analyses, tous les tests et essais énoncés peuvent être exécutés avec un matériel sophistiqué de laboratoire autant qu'avec un matériel léger et réduit de terrain. [1]

On remarquera que beaucoup des essais énoncés sont communs à plusieurs des catégories d'essais. Il n'est pas. Pour autant nécessaire de répéter ces essais mais leurs résultats devront être différemment interprétés selon qu'ils se situent dans telle ou telle catégorie "Essais de mise au point", le but de l'essai de gel dégel sera de prouver que le matériau analysé (une brique compressée stabilisée) supporte le minimum exigé de douze cycles de test, selon les conditions posées par certaines des normes les plus couramment appliquées. Par contre, du point de vue de la catégorie "Essais de caractérisation", le matériau s'avère pouvoir supporter par exemple dix-sept cycles du test gel dégel, démontrant ainsi une qualité supérieure qui autorise son emploi dans des conditions très dures. On constate aujourd'hui que très peu de pays ont élaboré des normes d'analyses et d'essais spécifiques au matériau terre. On se fondera donc le plus souvent sur des normes provenant d'autres disciplines telles que matériaux de construction en béton, revêtements routiers, etc. Ces normes ne sont pas nécessairement adaptées au matériau terre. Aussi conviendra-t-il d'adopter ces normes et de les adapter avec beaucoup de souplesse. Les résultats également seront étudiés avec indulgence car il est admis que les essais de durabilité sont extrêmement sévères et qu'ils ne correspondent souvent pas du tout aux réalités d'emploi des matériaux, sauf en quelques circonstances exceptionnelles. Quelques exemples concernant l'essai de résistance à la compression peuvent illustrer cette situation. Il en va de même pour un grand nombre des essais présentés. [1]

IV-4-2-Exemple:

L'essai de résistance à la compression doit être réalisé en un moment opportun qui soit représentatif de la qualité du matériau à cet égard. C'est pourquoi on mesure la résistance à la compression finale d'un brique échantillon en terre stabilisée au ciment à 28 jours, délai de cure au-delà duquel on suppose que la brique a atteint ou approche sa résistance finale. En fait, ce délai de 28 jours convient pour le béton ou les blocs de ciment qui atteignent à cette période 80 à 90 % de leur résistance finale alors qu'une brique de terre stabilisée au ciment n'atteint, à ce délai, que 60 à 70 % de sa résistance finale. Si la brique testée est stabilisée à la chaux, ce délai de 28 jours n'est pas suffisant. Il est nécessaire, dans ce cas, d'allonger le délai de cure du matériau d'au moins trois semaines sous risque d'établir des comparaisons et des interprétations qui seraient erronées. [1]

Par ailleurs, il est tout à fait acceptable de réaliser des essais de résistance à la compression sur des briques de terre du module CINVA (29,5 x 14 x 8,8 cm) en les écrasant à plat Certaines normes autorisent cette procédure. Les avantages de l'écrasement à plat d'une brique sont que l'essai est représentatif de la charge exercée sur la brique dans un mur, que l'on peut écraser des échantillons de la production courante et qu'il n'est pas nécessaire de mettre deux briques l'une sur l'autre, liées par un mortier comme c'est le cas dans la procédure courante de cet essai. Si l'on prend, à cet égard, la norme

belge NBN B/24/201, on constatera que les briques CINVA ont un rapport de hauteur/petit côté (8,8/14) égal à 0,63 donc supérieur au coefficient limite de 0,55. [1]

On pourra donc comparer les résultats obtenus avec ceux obtenus pour d'autres éléments de maçonnerie et même avec ceux obtenus sur des cubes de 20 cm de côté du même matériau. Pour les matériaux comprimés, la mesure de la résistance se fait nécessairement dans le sens de la compression de la terre. En effet, si l'on mesure dans le sens perpendiculaire à cette direction, les valeurs de résistance obtenues peuvent être abaissées de 25 à 45 %, faussant entièrement la réalité. [1]

IV-4-3- Identification et mise au point:

IV-4-3-1- Analyses d'identification:

Le but de ces analyses est de déterminer les caractéristiques des matériaux de base en vue de mieux situer le comportement du produit final. [1]

Une fois ces caractéristiques connues, il sera possible d'envisager les possibilités d'emploi de ces matériaux de base à partir de tableaux, d'abaques, de règles qui orienteront la prise de décisions. Les analyses d'identification sont les suivantes :

- Teneur en eau naturelle.
- Granulométrie.
- Sédimentométrie.
- Equivalent de sable.
- Limite de liquidité.
- Limite de plasticité.
- Limite d'absorption.
- Limite de retrait.
- Retrait volumique.
- Retrait linéaire.
- Essais Proctor.
- Masse volumique.
- Masse volumique apparente.
- Essai à la traction humide.
- Essai au cisaillement humide.
- Teneur en eau après séchage.
- Couleur état sec et état humide.
- Dissolution dans l'eau.
- Identification minéralogique.
- Surface spécifique.
- Quantité de matières organiques et humiques.
- Nature des matières organiques et humiques.
- Teneur en oxydes de fer.
- Perte au feu.
- pH...Etc. [1]

IV-4-3-2- Essais de mise au point:

Le but de ces essais est de mettre au point un matériau de construction valable, à partir des matériaux de base identifiés. Ces essais précisent les paramètres nécessaires à respecter lors de la composition et de la manufacture des produits. Les paramètres serviront également de référence pour les analyses et essais de contrôle et d'acceptation des produits. [1]

a-Test d'humidification -séchage:

La procédure présentée est celle de la norme ASTM D 559 et de la norme AASHTO T 135. Après une période de stockage de sept jours en atmosphère très humide, les éprouvettes sont immergées complètement dans l'eau, à la température de la pièce de travail, durant cinq heures.

Passé ce délai, les éprouvettes sont retirées de l'eau puis séchées dans un four ou dans une étuve à la température de 71° C. Ce séchage dure 42 heures, délai au-delà duquel les éprouvettes sont retirées du four puis brossées une à une.

Ce brossage est effectué à l'aide d'une brosse métallique et sert à évacuer tous les fragments de matériau affectés par les cycles de mouillage et de séchage. Le brossage est ferme et concerne chaque endroit des éprouvettes, dans deux directions (haut et bas), soit un total de 18 à 25 coups de brosse. La force appliquée au brossage est de l'ordre de 1,5 kg. La procédure sus décrite constitue un cycle de 48 heures de mouillage séchage. Les éprouvettes sont ensuite de nouveau immergées dans l'eau et soumises à un autre cycle de mouillage séchage. La procédure est répétée pour douze cycles. [1]

Si le test doit être interrompu, les éprouvettes sont stockées dans le four ou dans l'étuve. Après les douze cycles de tests, les éprouvettes sont séchées à 1100 C jusqu'à obtention de leur poids par rapport au poids initial. Lorsque les éprouvettes sont stabilisées à la chaux, les tests de mouillage séchage sont effectués après un délai d'un mois. Ce test est considéré comme extrêmement sévère. [1]

b-Test d'érosion:

Ce test simule une pluie artificielle normalisée que subit la face exposée à la pluie du bloc échantillon. L'arrosage est réalisé à l'aide d'une pompe maintenant une pression constante de 1,4 bar positionnée en amont d'une pomme d'arrosage ou de douche de 10 mm de diamètre placée à 20 cm du bloc testé. Le jet, dont la pression est contrôlée au manomètre, est maintenu durant deux heures perpendiculairement à la surface du bloc. [1]

On mesure ensuite les profondeurs des trous d'érosion et l'on considère la moyenne des dix-huit plus grands trous mesurés sur chaque bloc. Cette moyenne est notée: Pmm. Les résultats de ce test demeurent indicatifs. Une légère érosion ou un grêlage apparaissant sur un bloc de terre stabilisée ne doit pas être interprétés défavorablement. [1]

c-Test de gel- dégel:

La procédure présentée est celle de la norme ASTM D 560 et de la norme AASHTO T 136. Après une période de stockage de sept jours en ambiance très humide, les éprouvettes sont placées sur un matériau absorbant saturé d'eau, puis déposées dans un réfrigérateur, exposées à une température constante de - 23° C max., durant 24 heures, puis retirées.

Les éprouvettes sont décongelées dans une ambiance humide (100 % de H.R.) à la température de 21° C, durant 23 heures, puis retirée. Les éprouvettes doivent absorber de l'eau par capillarité (à partir du matériau absorbant) durant cette phase de décongélation.

Les éprouvettes sont ensuite brossées suivant la procédure du test de mouillage séchage. Le test est réalisé pour douze cycles de gel dégel, chaque éprouvette étant retournée sur le matelas absorbant entre chaque cycle. Certaines éprouvettes faites en terre silteuse ou argileuse peuvent s'écailler, notamment après le sixième cycle du test On veillera à éliminer cette écaillage afin de ne pas contrarier le brossage. Si le test doit être interrompu, les éprouvettes sont stockées dans le réfrigérateur. [1]

Après les douze cycles de test, les éprouvettes sont séchées dans un four à une température de 110° C jusqu'à obtention de leur poids constant. On calcule ensuite la perte de poids par rapport au poids initial. Ce test est considéré comme extrêmement sévère. [1]

d-Test d'abrasion:

Les blocs testés sont secs. Une brosse métallique lestée d'un poids de 6 kg est utilisée pour frotter la face exposée à la pluie (en fonction de l'appareil de maçonnerie prévu). Un aller et retour de la brosse constituent un cycle d'abrasion, le brossage est répété pour 50 cycles. La mesure consiste en un pesage du matériau détaché par le brossage. Le poids sec de ce matériau est rapporté au centimètre carré de surface brossée afin d'obtenir un test indépendant de la forme et de la taille du bloc. Les blocs stabilisés au ciment et au bitume sont testés à 28 jours, ceux stabilisés à la chaux, à trois mois. [1]

IV-4-4- Performance et caractéristiques:

IV-4-4-1-Essais de performance:

Le but de ces essais est de vérifier les performances du matériau déterminées en laboratoire, en les testant sous des conditions d'emploi simulées du matériau ou de systèmes constructifs. Il s'agit par exemple de tester le comportement de murs ou d'autres éléments de structure tels qu'ils apparaissent dans une construction. Les essais de performance les plus pratiqués sont les suivants :

** Résistance à la compression sèche et humide :*

Cet essai est réalisé en charge centrée et en charge excentrée lorsque l'on teste un mur par exemple.

** Résistance à la traction sèche et humide ;*

**Résistance à la flexion sèche et humide ;*

**Résistance à la pression transversale ;*

**Résistance à la pression latérale ;*

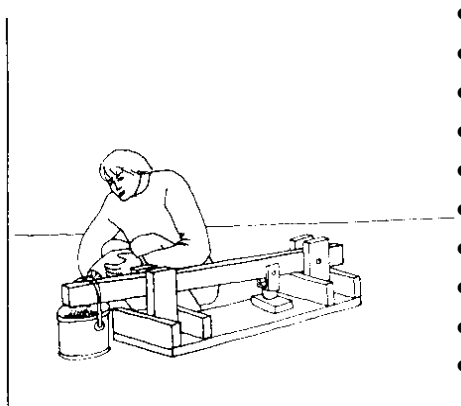
**Résistance aux chocs (corps mou). [4]*

IV-4-3-2-Essais de caractérisation :

Le but de ces essais est de caractériser certaines propriétés physiques du matériau produit qui sera utilisé en construction. Quelques-unes de ces caractéristiques permettront d'effectuer des calculs de comportement du bâtiment, en matière de thermique par exemple, ou d'apprécier le

comportement de systèmes constructifs dans le temps (enduits), ou encore de caractériser le confort et les conditions de sécurité générales. Les principaux essais de caractérisation sont les suivants :

- Compatibilité des enduits.
- Compatibilité des mortiers.
- Résistance au feu.
- Coefficient de conduction.
- Chaleur spécifique.
- Coefficient d'amortissement thermique.
- Coefficient de stockage thermique.
- Effusivité et diffusivité thermiques.
- Dilatation thermique Susceptibilité à la gélivité.
- Absorption d'eau.

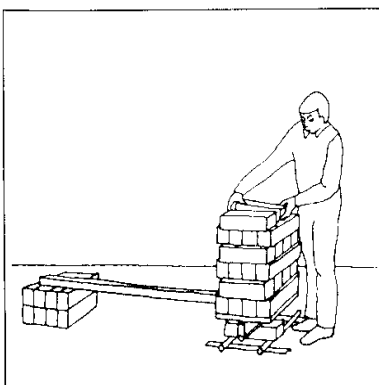


- Perméabilité.
- Capillarité.
- Retrait de séchage.
- Retrait volumique.
- Retrait linéaire.
- Teneur en eau après séchage.
- Masse volumique.
- Couleur.
- Texture de surface.
- Radiations et protection nucléaires... Etc. [4]

Fig. 4 – 5 : test de résistance a la compression
De la brique de terre.

a-Test de résistance à la compression:

Pour réaliser cet essai de résistance à la compression sèche sur des matériaux échantillons, les presses classiques des laboratoires d'essais sont tout à fait convenables. Si l'on veut écraser des briques de terre comprimée stabilisées, il conviendra de prévoir une presse pouvant charger la brique jusqu'à un minimum de 100 bars, soit une presse qui pourra atteindre les 400 KN. Sur les chantiers il sera possible de confectionner des petites presses à l'aide de quelques poutrelles en fer ou même avec un cric de camion. Ce matériel de chantier sera si possible équipé d'un manomètre afin de permettre une lecture directe de la force appliquée sur l'échantillon. Si le manomètre fait défaut on pourra utiliser un comparateur dynamométrique mais ce matériel reste fragile et il faudra travailler sur de petits échantillons. [4]



On pourra également réaliser des petites presses à levier, métalliques ou en bois. La force applicable à l'aide de ces presses à levier n'est pas très importante. Il importe donc de travailler avec des échantillons spéciaux (cylindres ou cubes de 5 cm de côté). La préparation d'éprouvettes de pisé, de bauge ou d'adobes ne pose pas de problèmes mais, pour des blocs comprimés, il importe de procéder par sciage afin de réduire la taille de l'éprouvette: des dommages structurels sont à prévoir. On peut encore fabriquer des éprouvettes spéciales mais elles risquent de ne pas être représentatives des briques comprimées testées. [4]

Fig. 4 – 6 : test de résistance à la traction

De la brique de terre.

b-Test de résistance à la traction:

Elle peut être mesurée grâce à un procédé de chantier mis au point par le I.I.H.T. de Californie (U.S.A.). Une brique de terre échantillon est posée (sur une de ses grandes faces) sur 2 tubes de $\varnothing = 2,5$ cm espacés de 20 cm et perpendiculaires à la grande longueur de la brique. Dans l'axe du dessus de la brique, parallèle au petit côté de la brique, on pose un autre tube, identique aux précédents, qui est surmonté d'un plateau en équilibre. On charge soigneusement ce plateau au rythme de 250 kg/minute avec d'autres briques, jusqu'à la rupture de la brique testée. Le but n'est pas de connaître la résistance exacte mais le dépassement d'un seuil limite que l'on détermine par avance. [4]

IV-5- Contrôle et acceptation :

IV-5-1- Analyses de contrôle :

A la suite des analyses d'identification et des essais de mise au point, les analyses de contrôle servent à vérifier la qualité des matériaux de base employés pendant la production et leur conformité aux exigences et caractéristiques définies par le laboratoire d'analyses et d'essais. Les types d'analyses et la fréquence du contrôle sont déterminés par les partenaires de l'opération mais l'on procède généralement à un contrôle journalier ou bien par livraison de terre sur le chantier ou à la briqueterie, ou encore lorsqu'un prélèvement important est effectué à la carrière de terre. Ces analyses sont donc pratiquées soit à la carrière, soit sur le chantier, soit sur l'aire de production des matériaux, avec un matériel de terrain. Les résultats sont soigneusement consignés et soumis à l'approbation des partenaires de l'opération : laboratoire de contrôle, maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, entrepreneur. Les principales analyses de contrôle sont les suivantes :

IV-5-1-1-Identification visuelle :

- Granulométrie.
- Equivalent de sable.
- Quantité de matières organiques.
- Degré de pulvérisation.
- Teneur en eau.
- Homogénéité du mélange.
- Pénétrömètre.
- Poids...Etc. [4]

IV-5-1-2-Essais d'acceptation:

Ces essais sont réalisés pendant la phase de production des matériaux de construction ou à la réception des matériaux, soit chez le producteur ou à la briqueterie, soit sur le chantier. Leur but est de vérifier la qualité de la production et sa conformité aux exigences et caractéristiques déterminées par le laboratoire d'analyses et d'essais. Pour les blocs ou briques, on prélève généralement sur la production cinq échantillons sur mille en début de production, puis un échantillon sur mille, en pleine phase de production contrôlée. [4]

Pour les petites briqueteries produisant moins de mille briques/jour, on prélève deux échantillons par jour. Pour les techniques de mise en oeuvre telles que le pisé ou la bauge, on effectue deux essais journaliers en début de chantier puis un par la suite. [4]

Des essais sont réalisés sur le chantier à l'aide d'un équipement de terrain. Les résultats sont soigneusement consignés et soumis à l'approbation des partenaires de l'opération : laboratoire de control, aître d'ouvrage, maître d'œuvre, entrepreneur. En cas de situation litigieuse ou de doute quant à la qualité effective des matériaux, des échantillons sont envoyés au laboratoire qui dressera un procès-verbal d'analyses. Les principaux essais d'acceptation sont les suivants :

- Couleur à l'état sec et humide.
- Efflorescences.
- Homogénéité de la matière.
- Compacité.
- .Teneur en stabilisant
- Poids sec.
- Masse volumique apparente.
- Dimensions.
- Aspect des surfaces.
- Retrait de séchage. .Résistance à la compression.
- Résistance à la traction...Etc. [4]

a- Pénétrromètre de poche:

Ce petit appareil très pratique permet de contrôler la masse volumique des briques en pleine production. On effectue au moins cinq pénétrations sur chaque brique. La surface de pénétration est de 3 à 5 mm et la profondeur de l'ordre de 5 mm. La pénétrométrie donne une indication générale et les résultats sont jaugés par rapport à un seuil d'acceptabilité des matériaux défini au préalable. [4]

b- Scléromètre pendulaire:

C'est un appareil astucieux qui permet de contrôler la qualité des matériaux, généralement sur un ouvrage achevé, sans détériorer le matériau. Le scléromètre pendulaire donne la résistance en compression du matériau, en bars. Pour la construction en terre, il faut employer les modèles de scléromètres convenant aux matériaux à faible résistance : de 50 à 80 bars. [4]

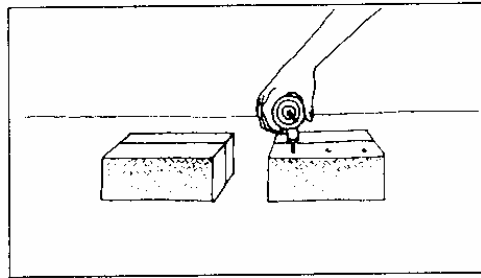
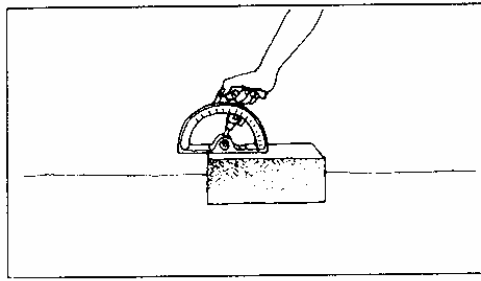


Fig. 4 – 7 : pénétrömètre de poche.

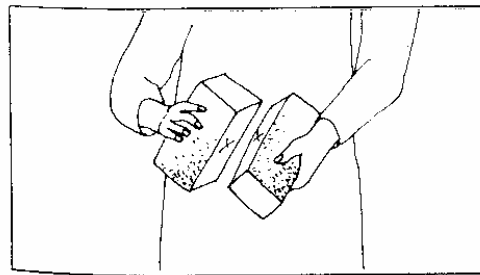
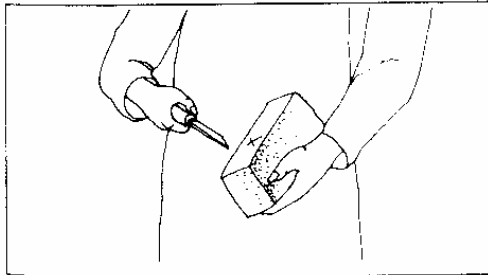


Fig. 4 – 8 : scléromètre pendulaire.

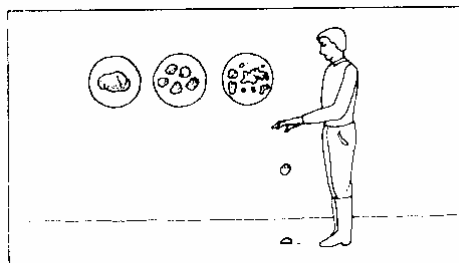


Fig. 4 – 9 : test de teneur en eau optimale.

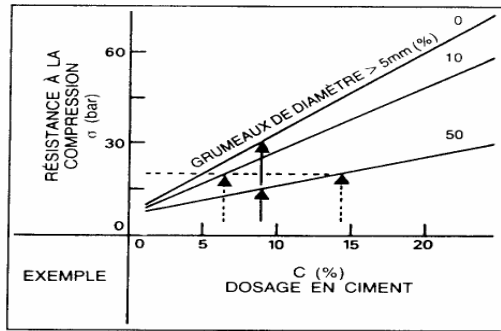
c-Test de teneur en eau optimale:

Pour estimer la T.E.O. d'une gâchée de terre destinée à être comprimée, on peut prélever une poignée de cette terre, la comprimer en fermant fortement la main et la laisser tomber sur une surface dure et plane, d'une hauteur d'environ 1,10 m.

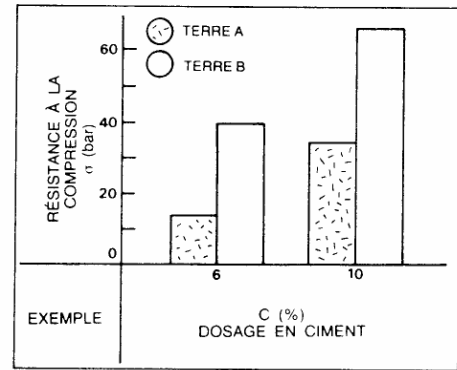
La teneur en eau est correcte si la boule de terre se désagrège en quatre ou cinq morceaux. Si la boule s'aplatit sans se désagréger, la teneur en eau est trop forte. Si la boule se pulvérise, la terre est trop sèche. [4]

d-Test de pénétration:

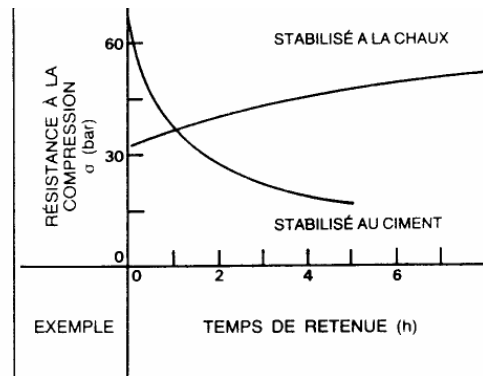
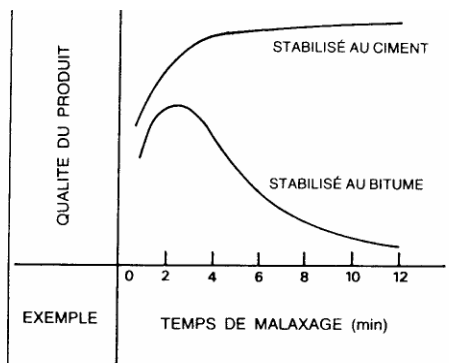
D'une distance d'environ 5 à 10 cm, on fait pénétrer un stylet dans la brique échantillon ou dans une éprouvette prélevée. La résistance du matériau est jaugée en fonction de la force de pénétration du stylet et de la dureté effective du matériau. Un seuil limite d'acceptabilité faite référence. Cet essai est assez subjectif. [4]



**Fig. 4 – 10 : Influence du % de ciment
Sur la résistance mécanique.**



**Fig. 4 – 11 : Influence du % de ciment et
Le type de terre sur la résistance mécanique.**



e-Test d'impact:

Deux briques échantillons stabilisés au ciment ou deux éprouvettes prélevées, tenues perpendiculairement l'une par rapport à l'autre, sont choquées plusieurs fois avec une force d'impact croissante entre chaque choc. La dureté du matériau est jugée en fonction de la sonorité restituée par les chocs. [4]

IV-6- production et qualité du produit fini:

On observe une tendance générale, dans le discours sur la terre, à donner une vision simpliste de la question prendre de la terre, la comprimer ou la mouler et c'est fini. Ce genre d'affirmation qui peut satisfaire l'auto constructeur profane ne doit pas pour autant le tromper et devient intolérable dans le cadre du projet d'envergure. [4]

IV-6-1 - Choix de la terre :

Les résultats de qualité du produit obtenus avec des terres correctement choisies, voire amendées, sont très supérieurs à ceux que permet une terre médiocre. De même, la Stabilisation est optimisée avec une bonne terre pour des pourcentages de stabilisant très inférieurs à ceux qui exigent une mauvaise terre. La stabilisation d'une terre médiocre n'est pas une panacée. Choisir une bonne terre n'implique pas forcément un éloignement de la carrière mais une reconnaissance sur place de la meilleure terre disponible. [4]

IV-6-2 – Pulvérisation :

Dans le cas de production de blocs de terre comprimés stabilisés, la pulvérisation est indispensable pour optimiser le dosage du stabilisant et donc faciliter la production et assurer une économie du produit. La pulvérisation de la terre, en amont du pressage, peut permettre de réduire de moitié, voire plus, la quantité de stabilisant tout en assurant une qualité excellente du produit. A qualité de stabilisant égale, une pulvérisation de la terre peut assurer une qualité deux fois supérieure. [4]

IV-6-3 - Temps de malaxage :

Suivant le matériel ou le mode de malaxage employé, les temps d'opération varient considérablement. Mais il a été constaté maintes fois qu'un temps de malaxage minimal doit être impérativement respecté. Par exemple, pour les blocs stabilisés au ciment, ce temps de malaxage minimal est de 3 à 4 minutes sous risque s'il est inférieur de perdre 20% d'efficacité de la stabilisation. Pour l'adobe stabilisé au bitume, il y a un temps de malaxage optimal au-dessus et au-dessous duquel on perd beaucoup en efficacité.

La stabilité et la faisabilité économique du produit. Il n'est pas pour cela nécessaire de mécaniser ou de sophistication la technique, ni d'investir à outrance. Bien plus important est le savoir-faire qui n'est pas forcément dû à l'expérience mais plutôt à la qualité de la formation reçue et à une bonne synthèse des résultats de recherche. Il s'agit également d'appliquer au procès de production un ensemble de critères de choix raisonnés qui doivent permettre d'optimiser la qualité du produit, d'amoinrir les coûts et la complexité du procès de production. [4]

IV-6-4 - Temps de retenue :

Le temps qui s'interpose entre le malaxage et le moulage peut être très important, par exemple pour les blocs de terre comprimés stabilisés au ciment, ce temps de retenue doit être réduit au minimum sous risque de favoriser une prise anticipée du ciment et la création de concrétions qui seront néfastes à la résistance mécanique des blocs. Un délai de 1 à 2 heures peut faire chuter la qualité du produit de moitié. Par contre, pour la stabilisation à la chaux, ce temps de retenue plus long (réaction aérienne lente de la chaux) améliore la qualité des blocs. Le temps de retenue influence l'organisation de la production. [4]

IV-6 -5 - Mode de moulage :

L'influence du mode de moulage ou du mode de compactage est très importante sur la résistance finale du matériau à la déformation (5 %). Dans certaines circonstances, le moulage à la presse peut améliorer de 5 fois la résistance à la déformation vis-à-vis d'un moulage manuel au pilon. Dans d'autres cas, on peut trouver que c'est le moulage par pétrissage qui donne des résultats supérieurs. Il importe donc de choisir la technique de moulage en connaissance de cause. [4]

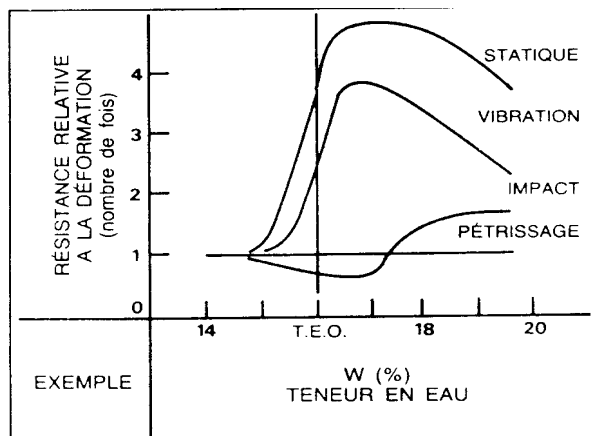


Fig. 4 – 14 : Influence

de la teneur en eau optimal

Sur la résistance relative à la déformation.

IV-6 -6 - Mode de séchage :

Dans de mauvaises conditions de séchage, une réduction dramatique de la qualité est notoire pour des blocs faiblement stabilisés au ciment pour une forte stabilisation, près de 2/3 de la résistance utile peut être conservée. Mais on peut quasiment atteindre la même qualité avec la moitié du ciment si les conditions de séchage sont encore plus importantes pour une stabilisation à la chaux. Trop de briqueteries opérationnelles négligent la phase de séchage. [4]

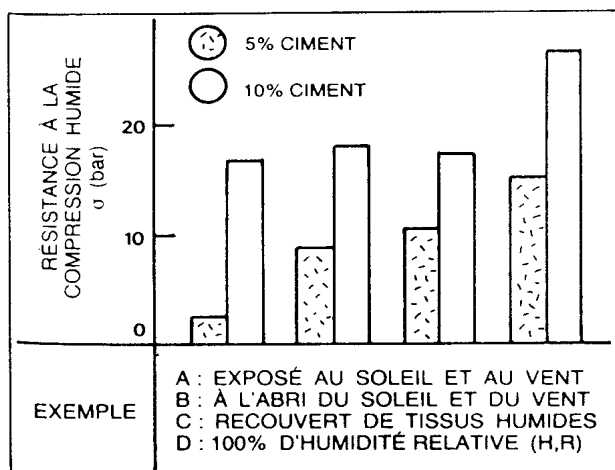


Fig. 4 – 15:

Influence du mode de séchage et

la teneur

En stabilisant sur la résistance à la compression humide.

V-7 -Conclusion :

A travers ce chapitre on peut prendre une idée générale sur la convenance des terres et les différents moyens de laboratoire qui permettent de réaliser les tests d'identification, caractérisation, acceptation et finalement de production d'un produit durable.

Les analyses, tests et essais concernant la construction en terre peuvent être réalisés avec un matériel classique. Ils ne demandent pas, ou très peu, de matériel spécifique.

Il convient de souligner que les paramètres de production ont une influence considérable sur la qualité du produit fini, sur les rendements et sur l'économie.

L'optimisation de la production peut être décisive pour l'acceptation.

Chapitre V : Construire Avec de la Brique de Terre Séchée Un Habitat Bioclimatique Durable.

V-1-Introduction :

Les relations de l'architecture avec l'environnement sont à l'ordre du jour. Elles concernent l'impact écologique et visuel, mais aussi les échanges entre le climat et les ambiances intérieures. Cet aspect a été particulièrement négligé ces dernières années, mais il est devenu, en raison de la crise de l'énergie, un des principaux thèmes de recherche dans le domaine des matériaux de construction et les principes de leur utilisation. [12]

Certes, il existe des publications qui traitent des relations entre l'architecture et le climat, ou entre l'architecture et le confort thermique, ou encore entre le climat et l'homme, mais bien peu parlent des trois à la fois et de leurs interactions. En outre, peu d'ouvrages sont consacrés à l'aspect méthodologique de la question de savoir comment prendre en compte effectivement ces facteurs lors de la conception architecturale. [12]

On peut dire que B. Givoni [12] est le premier à apporter une réponse satisfaisante à cette question : « **L'homme, l'architecture et le climat** » constitue ainsi à ce jour l'ouvrage le plus complet et le mieux documenté, la source de référence sur les relations de l'architecture avec le milieu climatique et avec l'homme qui y habite.

Aujourd'hui, le comportement des bâtiments fait l'objet de nombreux programmes Informatiques, essentiellement dans le but de prévoir les dépenses énergétiques consacrées au chauffage. Aucun règlement ni aucune norme ne fixe les conditions à respecter pour le confort d'été, alors que les conditions climatiques estivales sont partout difficiles de rendre les locaux de travail ou d'habitat inadaptés, voire invivables, pour peu que l'architecture soit mal conçue et les matériaux de construction ne répondent pas aux exigences climatiques. [12]

Donc, ce chapitre est consacré à la présentation des différentes propriétés des constructions en terre et leur comportement devant des conditions climatiques difficiles à supporter, ainsi que les principes de La Haute Qualité Environnementale et sa relation avec la bioclimatique et la durabilité des constructions en terre séchée, en prenant l'exemple de la ville de Bou Saada.

V- 2- Propriété thermo physique des matériaux de construction

V-2-1- Plages du contrôle climatique au moyen de la conception des bâtiments :

Les choix spécifiques de conception et des matériaux de construction affectent la réponse d'un bâtiment face aux éléments du climat : la quantité de rayonnement solaire absorbée et pénétrant dans le bâtiment, les températures d'air et des surfaces, la vitesse de l'air et la tension de vapeur d'eau. Les plages approximatives de variations concernent les relations entre les caractéristiques climatiques intérieures et extérieures. [10]

V-2-2- Propriétés thermiques requises de la construction en relation avec le climat :

Les propriétés physiques présentant le principal intérêt sont la résistance thermique et la capacité calorifique, et leurs caractéristiques d'exigences dépendent bien sûr des conditions extérieures, selon des critères différents pour les climats chauds et froids. Lorsque le climat annuel ne comprend qu'une saison

de « contrainte thermique », les autres saisons étant à l'intérieur de la plage de confort, les exigences peuvent être déterminées sur cette seule saison. [10]

Lorsqu'il y a deux saisons de ce type ou plus pendant l'année, par exemple un hiver rigoureux et un été chaud, la résistance et la capacité exigées doivent être évaluées pour chaque période et on doit adopter les valeurs les plus extrêmes pour se conformer aux deux exigences. [10]

Sous un climat chaud, la fonction de l'enveloppe d'un bâtiment est de modérer les effets calorifiques diurnes dus à l'air extérieur et au rayonnement solaire sur la structure et à l'intérieur du bâtiment. En même temps, le refroidissement nocturne ne doit pas être réduit de manière excessive. Lorsqu'on a recours à certaines formes de refroidissement mécanique, la « charge de refroidissement » doit être aussi faible que possible, et lorsque l'intérieur est ventilé pendant la journée, des précautions doivent être prises pour réduire toute élévation de la température des surfaces internes au dessus du niveau entraîné par le rayonnement solaire.

En hiver, dans les régions froides, le chauffage est utilisé en permanence et la construction d'un bâtiment doit garantir la santé et des conditions thermiques intérieures confortables ainsi qu'une économie raisonnable de combustible selon le type de chauffage utiliser. [10]

Des spécifications de construction doivent être données sous la forme de deux critères basés sur la sévérité du climat :

- la résistance thermique exigée pour les murs extérieurs et la possibilité d'aménager des fenêtres;
- le coefficient global admissible de déperdition de chaleur d'une unité de bâtiment (par exemple un appartement).

Il existe dans beaucoup de pays européens des réglementations spécifiant les exigences thermiques minimales pour les bâtiments, mais les larges différences constatées entre les réglementations de pays connaissant des climats à peu près semblables laissent croire que les traditions locales jouent un rôle considérable dans leur élaboration. [10]

V-2-3 - Sélection des matériaux dans les régions froides

Les traits caractéristiques des exigences thermiques peuvent être combinés pour donner un critère général assez large pour déterminer la résistance thermique requise en relation avec les conditions climatiques. Un tel critère doit avoir le profil suivant :

- constituer une base quantitative établie sur la sévérité des conditions extérieures;
- offrir une mesure favorable à l'effet d'amortissement de la capacité calorifique sur les fluctuations de température intérieure;
- présenter une valeur appropriée pour assurer le maintien de conditions thermiques intérieures agréables (températures de l'air et des surfaces intérieures). [12]

V-2-3 -1 - Température extérieure de référence :

La différence entre la température minimale quotidienne et la minimale effective pour le mois le plus froid dépend du degré de fluctuation dans le climat de la région en question, mais il est ordinairement de l'ordre de 5 °C. Comme les données de la température minimale quotidienne moyenne sont généralement disponibles dans les bureaux de météorologie, alors que la température minimale mensuelle moyenne ne l'est pas, on peut déduire la température minimale de référence en réduisant la première de 5 °C. [12]

V-2-3 -2- Conditions intérieures de confort :

Lorsque l'on a trouvé la température minimale de référence, on doit encore établir des critères pour les conditions intérieures favorables au confort. Même lorsque des températures d'air confortables sont maintenues grâce au chauffage, les propriétés des matériaux employés restent importantes, non seulement pour les économies de combustibles, mais aussi pour la santé et le confort. [12]

V-2-4- Sélection des matériaux dans les climats chauds :

Pour le choix des matériaux de construction adaptés aux climats chauds, deux caractéristiques de l'ambiance revêtent une importance primordiale : la température maximale et l'amplitude diurne (dépendant de la tension de vapeur d'eau). Un troisième facteur déterminant est constitué par le rayonnement solaire absorbé qui dépend de l'orientation et de la couleur externe de l'élément de bâtiment en question. Les propriétés thermo physiques les plus importantes sont la résistance thermique (R) et la capacité calorifique (Q) qui sont souvent exprimées ensemble par le produit QR. [8]

La résistance thermique est nécessaire pour modérer le flux de chaleur allant des surfaces externes vers les surfaces internes, qui est déterminé par la température de surface externe maximale; celle-ci dépend à son tour de la température extérieure maximale et de l'absorption du rayonnement solaire. [8]

La résistance thermique requise peut être considérée comme une fonction de l'augmentation de la température de surface externe due à l'éclairement énergétique, et de l'élévation de la température d'air maximale au-dessus d'une certaine valeur. Cette température seuil, au-delà de laquelle il est nécessaire d'avoir recours à l'isolation pour réduire le flux de chaleur qui pénètre à l'intérieur, peut être prise voisine de 25 °C, Mais les effets de ces deux élévations de température ne sont pas équivalents, car la période de variation de la température d'air extérieure est de 24 heures (entre le maximum et le minimum) tandis que la durée du «chauffage solaire» sur les murs est beaucoup plus courte, puisqu'elle est d'environ 6 heures en été. Il en résulte que l'effet de l'exposition au rayonnement solaire sur les conditions intérieures est plus limité que celui d'une augmentation équivalente de la température d'air extérieure. [8]

Une capacité calorifique élevée de la structure est efficace pour modérer la réponse de l'ambiance intérieure aux fluctuations de la température de surface externe, et la grandeur requise de cette capacité est donc plus étroitement liée à l'élévation de température sous l'effet du rayonnement solaire et à l'amplitude extérieure qu'aux valeurs maximales absolues que peuvent atteindre ces températures. Ici encore, les différences de périodes donnent à ces deux facteurs des poids inégaux dans leur relation avec la capacité calorifique compensatrice nécessaire. Lorsque l'amplitude de températures s'élargit, on peut tirer de plus grands avantages des effets de la capacité calorifique dans le contrôle des températures intérieures. Comme cela a été dit, la capacité calorifique et la résistance

thermique peuvent se combiner sous la forme du produit QR, et, dans une certaine mesure, les effets d'une résistance insuffisante peuvent être atténués par une augmentation de capacité et réciproquement.

Mais comme les mécanismes de contrôle des flux de chaleur par les deux facteurs sont différents,

l'efficacité et, par là même l'importance relative de chacun d'eux vis-à-vis du confort physiologique à l'intérieur d'un bâtiment varient différemment avec les caractéristiques climatiques. [8]

D'une manière générale, la résistance thermique revêtira une plus grande importance dans les régions humides où les amplitudes diurnes sont faibles, tandis que dans les zones à climat sec où les amplitudes de température sont plus grandes, la capacité calorifique sera prépondérante, et on peut dire que l'importance des deux facteurs est à peu près la même. [8]

Jusqu'à présent, il n'existe aucune formule ni aucun procédé qui permette d'évaluer pour les climats chauds les exigences en matière de résistance et de capacité dans les bâtiments sans air conditionné. Mais à partir de l'expérience acquise à Haifa – Palis Tan-, l'auteur suggère les formules suivantes qui peuvent servir de guide pour le choix des matériaux adaptés sous ces conditions, en attendant que des recherches à venir puissent fournir des informations plus exactes. [8]

V-3-Les caractéristiques de conception :

V-3-1-Principes de conception et de construction des bâtiments dans les régions désertiques :

Dans les déserts, les bâtiments sont généralement conçus avec des toits plats et avec des matériaux lourds et de très petites ouvertures. Dans les zones rurales, les toits sont composés d'une épaisse couche de limon séché recouverte par une seconde couche imperméable; dans les zones urbaines, c'est le béton armé qui est utilisé pour couvrir les bâtiments modernes. [12]

Les toits et les murs extérieurs épais amortissent les fluctuations de température et stabilisent les températures intérieures à un niveau proche de la température de surface externe moyenne! L'enveloppe des bâtiments et leur structure se présentent sous une forme compacte, pour exposer le minimum de surface au rayonnement et à l'air chaud extérieur. On trouve souvent des patios et des cours intérieures répondant à des besoins sociaux et qui peuvent servir aussi d'aires de sommeil. La ventilation est réduite au minimum pendant la journée, pour ne pas introduire l'air extérieur chaud et chargé de poussière. [12]

Cependant le but visé par ce type de conception qui est de diminuer les températures diurnes dans la mesure du possible, est atteint aux dépens des conditions nocturnes qui sont nettement plus chaudes à l'intérieur que dehors. [12]

Dans certaines zones, même pendant la journée la température intérieure est trop élevée pendant plusieurs mois de l'année, et dans ce cas on ne peut obtenir le vrai confort qu'en ayant recours à un système de refroidissement artificiel. Parfois, on rencontre des pièces souterraines dans lesquelles les fluctuations sont stabilisées autour du niveau proche de la moyenne annuelle; les températures d'été sont donc beaucoup plus basses que dans les bâtiments au niveau du sol. Mais habituellement, dans les bâtiments sans moyen mécanique de refroidissement, les occupants ont de quoi dormir sur les toits ou dans les cours intérieures. [12]

L'utilisation de matériaux isolants modernes en conjonction avec des matériaux de haute capacité calorifique, de la brique traditionnelle, permet d'avoir des ouvertures plus larges tandis qu'elle maintient, et même améliore les conditions thermiques obtenues dans les bâtiments traditionnels. [12]

Dans le choix d'une orientation adéquate des bâtiments dans les zones arides, l'objectif étant de réduire les températures intérieures diurnes, on cherchera d'abord à minimiser l'échauffement solaire. Une orientation Nord-Sud est donc préférable à une orientation Est-Ouest. Cependant bien qu'il ne soit pas nécessaire de prendre en considération l'orientation par rapport au vent du point de vue des conditions diurnes, puisque les fenêtres devront rester closes à ce moment-là, si une légère déviation par rapport à la direction Nord-Sud devait apporter une ventilation pendant la fin de journée et la nuit, il serait opportun d'en tenir compte. [12]

En résumé,

Les exigences qui doivent être satisfaites pour la conception et la construction d'un bâtiment sous les climats chauds et humides sont les suivantes : possibilité d'une ventilation permanente et efficace; protection contre le soleil, la pluie et les insectes; prévention de l'élévation des températures intérieures pendant la journée et diminution de celles-ci pendant la soirée et la nuit, l'utilisation de la brique de terre crue.

V-4 - Du HQE¹ à la bioclimatique :

De tous temps, l'homme a essayé de tirer parti du climat pour gagner du confort et économiser l'énergie dans son habitation. Aujourd'hui, des règles d'adaptation à l'environnement, à l'architecture et au climat permettent d'allier une tradition millénaire et des techniques de pointe. De l'architecture vernaculaire (antiquité) à l'architecture du moyen âge l'adaptation des constructions par rapport aux facteurs naturels se fait par des moyens simples, y la révolution industrielle a permis à l'homme d'acquérir des techniques plus sophistiquées pour avoir le confort désiré, [11]

Pour obtenir le confort il faut exploiter l'énergie puisée dans l'environnement naturel d'où la relation forte entre l'homme, l'architecture et le milieu naturel. [11]

V-4-1- Architecture et développement durable :

Architecture et développement est un groupement européen d'intérêt économique associant divers professionnels spécialisés dans la construction en terre : Architecte, Ingénieur, Economiste, oeuvrant tous pour la mise en place d'une politique de développement durable à travers l'outil de la construction. (Voir aussi Cibles HQE). On commence à entendre parler en France de "*la Haute Qualité Environnementale*" des bâtiments. Qu'est-ce que la haute qualité environnementale? [11]

V-4-1-1- La Haute Qualité Environnementale :

La nécessité du développement durable (sustainable development) a été mise en avant au sommet de la Terre de Rio en 1991. L'objectif est d'engager aujourd'hui uniquement des développements n'induisant pas une extinction des ressources naturelles, ou des atteintes irréversibles à l'environnement, que les générations futures ne parviendraient pas à contrôler. Autrement dit, les actions engagées maintenant doivent être "soutenables" demain par ceux qui nous succéderont. Le secteur bâtiment est bien entendu concerné, et tous les acteurs de la production des bâtiments sont sollicités, y compris les chercheurs. L'ensemble des objectifs à atteindre pour soigner la qualité environnementale (QE) peut être présenté sous forme de "cibles". [11]

***Définition de l'HQE¹ :**

La Haute Qualité Environnementale est une démarche de management de projet visant à maîtriser les impacts d'une opération de construction ou de réhabilitation sur l'environnement. Elle est défini par cinq texte de référence, les "référence de la HQE" :

-1- **HQE** : Haute Qualité Environnementale.

A- Définition formelle de la qualité environnementale des bâtiments (QEB) :

La qualité environnementale des bâtiments correspond aux caractéristiques du bâtiment, de ses équipements (en produits et services) et du reste de la parcelle de l'opération de construction ou d'adaptation du bâtiment qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et de création d'un environnement intérieur confortable et sain.

B- Définition existentielle de la QEB :

L'exigence environnementale générale pour la qualité environnementale d'un bâtiment se décompose en quatorze exigences environnementales particulières, appelées "cibles", organisées en deux domaines:Les cibles de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur. [11]

- Eco construction.
- Eco gestion.

Les cibles de création d'un environnement intérieur satisfaisant.

- Cible de confort.
- Cible de santé.

C- Définition explicite de la QEB.

D- Définition du système de management environnemental pour les maîtres d'ouvrage d'opération de construction et d'adaptation de bâtiments. Référentiel "SCIE".

E- Guide pour la rédaction de référentiels pour la certification "démarche HQE" d'opérations - à paraître. [11]

Sans aller jusqu'à une démarche bioclimatique, mais en intégrant des éléments aussi divers que les déchets, le choix des matériaux.... " La Haute Qualité Environnementale " (HQE) a aujourd'hui le vent en poupe. La démarche HQE, c'est une recherche de la qualité dans une optique de développement durable (satisfaction des besoins des populations d'aujourd'hui sans compromettre les besoins des générations futures).La Haute Qualité Environnementale vise à satisfaire trois exigences complémentaires :

- Maîtriser les impacts d'un bâtiment sur l'environnement extérieur.
- Créer un environnement sain et confortable pour ses utilisateurs.
- Préserver les ressources naturelles en optimisant leur usage.

Elle propose aux maîtres d'ouvrage et aux chercheurs (ingénieurs et architectes) une approche globale et transversale en amont et pendant toutes les phases de la vie d'un bâtiment : programmation, conception, réalisation, utilisation, maintenance, éventuelle adaptation et déconstruction. [11]

La liste précise des cibles a été établie comme suit

- Eco construction :

Cible 1 : Relation harmonieuse du bâtiment avec son environnement immédiat.

1. Utilisation des opportunités offertes par le voisinage et le site.
2. Gestion des avantages et des désavantages de la parcelle.
3. Organisation de la parcelle pour créer un cadre de vie agréable.
4. Réduction des risques de nuisances entre le bâtiment, son voisinage et son site. [11]

Cible 2 : Choix interne des procédés et produits de construction.

1. Adaptabilité et durabilité des bâtiments selon l'état du bâtiment et son évolution d'usage.
2. Choix des procédés de construction (manière dont on réalise la structure du bâtiment ...etc.).
3. Choix des produits de construction (matériaux et composants). [11]

Cible 3 : Chantier à faible nuisance.

1. Gestion différenciée des déchets de chantier.
2. Réduction du bruit de chantier.
3. Réduction des pollutions de la parcelle et de voisinage. [11]

-Eco gestion :

Cible 4 : Gestion de l'énergie.

1. Renforcement de la réduction de la demande et des besoins énergétiques.
2. Renforcement du recours aux énergies environnementales satisfaisantes.
3. Renforcement de l'efficacité des équipements énergétique.
4. Utilisation des générateurs propres en cas de recours à des générateurs à combustion. [11]

V-4-2- La Démarche Qualité Environnementale (DOE).

La démarche qualité environnementale est un processus de conception et/ou d'accompagnement de projet qui consiste à tenter de minimiser, à chaque stade d'un programme (d'aménagement, de réhabilitation, de construction ou de déconstruction) les impacts négatifs, les risques sur la santé physique et morale des personnes, les perturbations apportées aux équilibres biologiques naturels, ainsi que les prélèvements de matières premières, de biomasse et d'énergie. (Dit autrement ; il s'agit de minimiser, supprimer et/ou compenser les impacts négatifs locaux et globaux, directs et/ou indirects ou différés, dans l'espace et dans le temps, sur la faune, la flore, les écosystèmes, la qualité de vie, les ressources pas peu difficilement ou coûteusement renouvelables). [11]

Cette démarche se construit sur trois piliers

L'inventaire détaillé des besoins et exigences réglementaires et sanitaires, en intégrant le contexte écologique, y compris avec une vision prospective .L'état actuel et provisoire des connaissances scientifiques, en appliquant le principe de précaution. [11]

Les intentions précisées du maître d'ouvrage (si possible préalablement éclairé et accompagné d'experts compétents), comprenant la méthode prévue pour l'évaluation et les rétro corrections éventuellement nécessaires au cours de la vie du projet ou de l'objet construit. [11]

La " Démarche Qualité Environnementale " est un processus qui échappe encore, pour ses composantes essentielles, à toute quantification des résultats. Elle ne peut donc prétendre pour l'instant être finement introduite dans les "calculs de rentabilité ". Un nombre croissant de commanditaires sous la pression du public ou de manière volontaire exige des garanties de moindre impact sur l'environnement. [11]

« Une démarche de progrès »

Cette méthode s'appuie à la fois sur l'organisation que se donne le maître d'ouvrage (le management) et les objectifs à atteindre qu'il se fixe. Cette démarche a pour objectif d'associer tous les acteurs du bâtiment d'enrichir son contenu (exigences, évolution...) sur la base des retours d'expérience. [11]

V-5-Etude de cas

V-5-1 – Bou Saada lieu potentiel :

Suivant sa position géographique l'Algérie se trouve dans une zone a haute potentialité solaire, dans se cas la cette situation présente des caractéristiques diverses (le littorale, les régions montagneuses, les hauts plateaux et le Sahara).La première chose qui attire l'intention devant la carte géographique de l'Algérie c'est bien la couleur jaune (le Sahara), c'est presque de 90% des terres arides et semi arides, notre site d'intervention s'est porté particulièrement sur les zones des hauts plateaux. [16]

Nous avons choisi l'intervention sur La région où se trouve la ville de Bou Saada pour les raisons suivent :

- 1) Elle est située dans une région chaude ou une architecture passive trouve un intérêt plus auprès une population que dans les régions nord du pays.
- 2) Elle dépose une variété de potentialité qui réside dans la beauté et la diversité des paysages.
- 3) Elle souffre de problèmes environnementaux multiples.
- 4) l'existence d'habitats individuelle construit en brique de terre crue et respectant les spécification de la construction bioclimatique. [16]

Bou Saada est caractérisée par un climat semi aride (située entre 15° et 35° de latitude au nord de l'équateur) c'est une région très froide en hiver, contrairement à un été très chaud, avec une luminosité très forte et un rayonnement solaire intense, et de vent de sable fréquent durant toute l'année. C'est un site intéressant pour intervention de recherche selon les principes du bioclimatique.

V-5-2 - Problématique de départ :

La situation géographique, et les conditions climatiques sont des facteurs très importants pour le développement urbain des villes, et vu la haute potentialité solaire de l'Algérie, il fallait prendre en considération nos villes sahariennes.

Bou Saada, comme toutes les villes Algérienne, comme une période coloniale qui a exigée un réaménagement de la ville suivant le mode de vie des européens qui négligé presque en totalité le tissus urbain existant.

Après l'indépendance, l'amélioration des conditions de vie a donné lieu à une croissance démographique qui a mis la ville devant une crise quantitative de logement, mais la croissance urbaine, faite d'une façon anarchique en marginalisation de l'usager et de la haute qualité environnementale ne s'adapte pas aux données climatiques et en négligence d'une architecture locale, a ramené la ville devant une vraie crise qualitative symbolisée par l'absence des références typologiques. S'inscrivant dans cette optique, les travaux de recherches doivent avoir une contribution pour une prise de conscience des problèmes liés à l'environnement et leurs implications dans la vie sociale. Elle a aussi pour but de sensibiliser les décideurs quant à la préservation de la faune et de la flore en adéquation avec les exigences du développement. Dans notre cas, et pour surmonter tous ces problèmes, on propose l'intégration d'un habitat dans un cadre moderne en prenant compte les données régionales suivantes :

- Tout ce qui concerne le climat du sud Algérien.
- L'utilisation des matériaux et des techniques de construction suivant une **Haute Qualité Environnementale (HQE)**.

Il faut faire des efforts pour s'orienter vers un développement écologique durable renvoyant à une utilisation raisonnable des ressources existantes pour préserver l'avenir des générations futures.

V-5-3- Déroulement de l'étude :

L'essentiel du travail de terrain a été de collecter les sources et les données sur place ; ainsi ont été effectués :

- un sondage oral concernant les modes de construction, les formes d'entretien et de réparation ainsi que la perception de la dégradation par les habitants du village de Bou-Saada.
- plusieurs consultations (photographiques) de l'ensemble de l'habitat comme de certains détails.
- des descriptions en l'état, du sol au toit, de l'intérieur et de l'extérieur, de pièces montées en matériaux traditionnels.

V-5-4- Bou Saada et son climat :

V-5-4-1- Le cadre physique :

Les régions semi-arides comme le Hodna, se caractérisent par leurs « glacis », grandes surfaces planes descendant en pente douce vers une dépression et datant de la fin du tertiaire ou du quaternaire. Les hautes plaines sont encadrées par des chaînes montagneuses dont « la structure a été acquise au cours de diverses phases tectoniques du système alpin de plissement, notamment la phase genschérienne (sénonien inférieur), la phase atlasique (Eocène), la phase tellienne (Miocène), la phase pontine et la phase villafranchienne ». Les plissements de la région immédiate de Bou-Saâda ont eu lieu au tertiaire et se sont poursuivis au quaternaire. [16]

Au plan géologique, la dépression du Hodna se distingue des Hauts Plateaux et des Hautes Plaines par un certain nombre de caractères propres. Les trois zones hodnéennes les plus proches de Bou-Saâda : le sud du Hodna, le R'mel et la montagne peuvent être ainsi identifiées

- la plaine méridionale (550 m à 850 m) présente des glacis caillouteux encroûtés, ensablés, et des collines rocheuses ;

- le R'mel (400 m à 550 m) est formé de dunes de sables, de dépôts alluviaux récents et de collines rocheuses isolées. C'est un pli constitué de calcaires, marnes et grès du jurassique et du crétacé ;

- les chaînes montagneuses sont constituées également de calcaires, marnes et grès (crétacé inférieur et supérieur). [16]

V-5-4-2-Le climat :

Pour qui a visité Bou-Saâda en différentes périodes de l'année, il apparaît que l'oasis présente des constantes climatiques vérifiables douze mois sur douze. Cette impression n'est pas fondée, certes, car on ne saurait parler d'isothermie inter saisonnière dans le sud du Hodna. Cependant, quelques traits du climat local demeurent inchangés : lumière, transparence de l'air, ciel bleu, chaleur, et même les jours de vent de sable, de ne pas y vivre une seule minute pluvieuse. Est-ce dire qu'il ne pleut jamais à Bou-Saâda ? Le Hodna dans son ensemble appartient à la zone méditerranéenne, comprise entre les climats tempérés et tropicaux. Bou-Saâda elle-même n'est qu'à 250 km d'Alger, c'est-à-dire à moins de 200 km à vol d'oiseau de la mer. [16]

Le climat hodnéen est caractérisé par des précipitations hivernales, printanières et automnales, rares et irrégulières. Ainsi, la zone de BouSaâda apparaît comme un couloir orienté ouest-nord-ouest à l'est-sud-est. De ce fait, seules les perturbations pluvieuses arrivant par l'ouest ou le nord-ouest sont susceptibles de l'atteindre pleinement. Mais elles auront déjà traversé toutes les vastes zones s'étendant de l'Atlas marocain au Hodna, en passant par le plateau oranais et les Hautes Plaines du Centre, y déposant la majeure partie des pluies qu'elles ont pu apporter de l'Atlantique. [16]

Les perturbations de nord à nord-est, du reste essorées par la chaîne des Bibans, sont moins fréquentes, mais elles apportent surtout de la neige. On considère 9 situations de neige en moyenne par an, avec une persistance moyenne de 8 jours par situation. Nous pouvons donc penser que la région montagneuse de Bou-Saâda (monts septentrionaux et méridionaux) peut être enneigée pendant plus de deux mois par an, encore que les monts du Hodna sur leur versant nord soient plus recouverts que le versant sud et les monts des Ouled Neil. [16]

Néanmoins, la zone immédiate de Bou-Saâda en reçoit une partie par écoulement après la fonte des neiges. Ainsi, les montagnes auxquelles est adossée l'oasis constituent-elles son château d'eau. Ce sont évidemment les montagnes environnant la dépression du Hodna aux quatre points cardinaux qui reçoivent les plus grandes quantités d'eau. Ces dernières vont en décroissant avec l'altitude. Ainsi, la région montagneuse reçoit plus de 400 mm au nord de la cuvette' et entre 250 et 400 mm au sud de Bou-Saâda sur les monts des Ouled-Naïl ; la plaine du Hodna enregistre de 200 à 400 mm de pluie par an ; le chott en reçoit moins de 200 mm et la zone sableuse du R'mel, aux portes de l'oasis, n'est arrosée annuellement qu'avec moins de 200 mm, tandis que la ville même de Bou-Saâda reçoit en moyenne 237 mm par an . Au nord de Bou-Saâda, Aïn-Kerman a enregistré entre 1913 et 1950 des minimums de 100 mm en 1946, et de 400 mm en 1912 (voir tableaux). [16]

REGION	MAXIMUM	LOCALITE
Littoral	1 800 mm	Bessombourg
Atlas Tellien	1 600 mm	Aïn-El-Ksar
Hautes Plaines	580 mm	Bou Malek
Bou-Sâada	500 mm	Bou-Sâada
Atlas Saharien	480 mm	Réghaïa
Steppe	345 mm	S'gag

Tableau 5-1 : la pluviométrie maximum matinale a Bou Saada et ces localités

Rapportée à la pluviométrie maximum matinale, celle de Bou-Saâda n'est pas la plus basse, comme le montre le tableau ci-dessus.

A- quelques données climatiques

Latitude de 35° 13'Nord.

Longitude 4° Il l'Est.

Altitude 560 m.

Les valeurs inscrites dans les tableaux qui suivent donne les moyens de 10 ans passe (jusqu'au l'an 2000). [16]

1 -Température (Tem C°):

La température mensuelle moyenne a Bou Saada est environs de 31°C pour le mois de juillet, et pour le mois de janvier est une température moyenne mensuelle de 8. 75 c. [16]

D, climatique/mois	Jan	Fe v	Mars	Avr	Mai	Jui	juil	Ao ut	Sep	Oct	No v	Dec
Extrême Max	19,5	21	26,9	29	37,6	41	43	42	37	32	26	20
Moyen mens max	13,7	16	19,5	22	29,4	34	38	34	31	25	19	15
Moyen-jour	80	10	13,1	17	22,8	27	31	30	25	19	14	10
Moyen mens min	3,8	4,7	6,7	10	15,9	20	23	22	18	12	8,1	4,4
Extrême Min	-2,9	- 0,7	1,2	3,9	8,6	15	18	18	13	7,0	6,5	-1,6

Tableau 5-2 : Les températures mensuelles moyennes à Bou Saada

2- L'humidité relative (HR %)

L'humidité relative est le rapport entre la teneur réel de l'air en vapeurs d'eau et la teneur d'un air situe a la même téméraire, elle monte en hiver jusque-là la limite de 70.5% (le mois de janvier), et elle est basse en été, elle atteint 32.5%(mois de juillet). [16]

D, climatique/mois	Jan	Fev	Ma rs	Av r	Ma i	Jui	Jui l	Ao ut	Se p	Oc t	No v	De c
Moyen	70	62	60	57	41	38	32	38	56	65	63	78
Pression de vapeur	79	73	76	74	94	101	106	115	127	99	77	82
Nbr de jours brouillard	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 5-3 : L'humidité relative (HR %) à Bou Saada

3 - Précipitation (mm) : Durant la période de (1995-2000) la ville de Bou Saada a connu des précipitations en moyen de « 120 - 250 mm », mais elle est rare et irrégulière.

Pendant la période (1991-1994) la ville a connu une précipitation qui dépasse 1500mm par an. [16]

D, climatiq Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	juil	Aout	Sep	Oct	No v	Dec
Moye/max mensuelle	5	7	13	78	120	55	30	27	20	11	84	71
Max dans les 24H	27	30	30	31	55	36	13	20	54	52	59	37

Tableau 5-4 : Précipitation (mm) à Bou Saada

V-5-4-3-Physionomie Actuelle de Bou Saâda :

Nous allons essayer d'appréhender la morphologie globale de la ville de Bou Saâda telle qu'elle nous apparaît aujourd'hui en faisant converger trois paramètres constituant de la réalité urbaine de l'oasis: la formation urbanistique de la cité par les hommes, les places respectives de la ville et de ses jardins et la dynamique du changement de Bou-Saâda. Nous retrouverons ce faisant toute l'importance de l'espace et de ses données : « l'espace, écrit. Beaujeu Garnier, les habitants, le rôle des villes, telle est la trilogie des points de vue de géographie urbaine ». [16]

Nous verrons ensuite comment la confrontation de ces trois éléments porteurs induit la croissance du tissu urbain oasien. Bou-Saâda, comme toute ville, fut et demeure un corps vivant: elle ne peut pas avoir été ou être aujourd'hui un espace définitivement délimité et clos. Elle se meut en fonction des exigences sans cesse renouvelées et amplifiées de l'intérieur d'elle-même et de son environnement. Elle est à la fois un système individualisé isolé et une structure d'un ensemble à deux étages (régional et national) beaucoup plus vaste et complexe. Il s'agit comme le pense D. Chevalier d'étudier les conditions de la croissance telles que les indique l'examen interne des normes des sociétés locales: en l'occurrence, le ksar de Bou-Saâda fournira lui-même à travers l'historique - même brève - de ses structures urbaines depuis la Régence. [16]

V-5-4-4-Description évolutive du tissu urbain de Bou-Saâda :

Nous avons vu que la fondation du ksar remonte à la fin du Moyen Age. Les légendes y afférentes recueillies par maints enquêteurs civils et militaires dans les premières années de la colonisation s'accordent toutes sur ce point: le premier édifice que les saints éponymes de l'oasis érigèrent fut une mosquée, Djemaa-en-nekhla (la mosquée du palmier) que l'on peut visiter encore aujourd'hui. Nous reviendrons plus loin sur la symbolique de cette sainte construction primitive en la rapportant à l'archétype de ville islamique. [16]

Durant les trois siècles de la Régence, le tissu ksarien s'enrichit de maisons à la mesure de la croissance démographique de la localité. [16]

La ville, au début de la colonisation, était déjà bâtie en amphithéâtre dont le point culminant se confond avec le futur. La médina était entourée de remparts.

En effet, la ville avait organisé sa défense en se protégeant contre invasions étrangères et incursions nomades. Un mur d'enceinte délimitait donc la ville dont les maisons serrées les unes

contre les autres étaient construites en « briques de terre séchée au soleil » : les militaires français furent surpris par la solidité des constructions dont certaines reposaient sur de grosses pierres supposées provenir des ruines romaines. Les portes de la ville étaient fabriquées à partir de troncs de palmiers. Les maisons étaient habitées dans leur partie supérieure, tandis que les rez-de-chaussée étaient utilisés comme « boutiques, ateliers et magasins ». Les jardins eux-mêmes étaient entourés de murs : ces ouvrages assuraient la sécurité de la palmeraie. Et les rues de la médina ?

Le rapport militaire cité en traite ainsi : « les rues sont étroites, tortueuses ; il existe un très nombre d'impasses. Certains quartiers sont séparés par des portes. Au centre de Bou-Saâda, vingt ou trente maisons reliées aux autres, occupent un point culminant qui domine toute la ville » : c'était le quartier général et le poste d'observation idéal des « insurgés ». [16]

Jusqu'à-là cependant, la médina formait l'essentiel de la ville de BouSaâda. C'est avec la création puis l'extension vers le sud-ouest de la ville européenne que la physionomie générale de la cité allait changer. Les nouvelles bâtisses coloniales portaient de la place que les Bou-Saâdis nommaient « le Souk » et que les Européens allaient baptiser « Place du colonel Pein ». [16]

La place du marché se présentait comme la porte d'entrée privilégiée de la médina et le centre névralgique de l'activité économique oasienne. Comme dans d'autres médinas, la disposition des quartiers est fonctionnelle : le souk, par exemple, n'est jamais dans le district résidentiel. Dans le cas de la ville mozabite, observe X. de Planhol, « le marché, accessible aux caravaniers, a été repoussé à la périphérie, en dehors de la ville proprement dite ». [16]

V-5-4-5- Le ksar de Bou-Saâda : archétype de ville islamique :

On s'appuiera dans cette analyse sur l'iconographie et l'enquête réalisées par nous-même auprès d'un échantillonnage de la population de Bou-Saâda sur la signification de sa médina (20 personnes de tous âges), mais également sur l'étude menée par un groupe d'étudiants suédois sur l'urbanisme de la vieille ville de Bou-Saâda en 1977. Les jeunes urbanistes suédois ont travaillé sous la direction d'un professeur d'urbanisme de l'université de Lund et en liaison étroite avec l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger. [16]

Le site et la situation de Bou-Saâda ont décidé la structure topographique de sa médina. Cette idée de la relation de la ville à son site géographique est développée par E.Masqueray qui y voit une cause essentielle dans la formation des cités maghrébines. On rappellera, avec P. Pascon, que la médina de Marrakech a vu son évolution limitée par l'O.Issil et les collines du Guéliz . Par ailleurs, A. Bahmane, qui a visité de nombreuses médinas en Algérie conclut que : « Les ksours ont été bâtis soit sur les collines, soit à flanc de côte afin d'être ensoleillés en hiver et protégés des vents, des crues, des oueds et des agressions » . L'oued, la montagne et les dunes l'ont donc imposée là où elle est : en déclivité vers la palmeraie. Sa latitude est celle d'une région semi-aride : nous savons que les conditions naturelles de Hodna méridional sont rudes. La ville primitive devait donc se prémunir contre les éléments : rues étroites et tortueuses où les rayons solaire n'accèdent pas ou du moins qu'ils ne chauffent pas longtemps. Le réseau des impasses limite par ailleurs la pénétration des vents. La conséquence directe de cette fermeture de la vieille ville au vent et au soleil se retrouve dans le degré hygrométrique excessif des habitations du ksar. Les fondations mêmes de certaines maisons ont souffert de l'humidité. Certaines rues ont à peine 2 m de largeur .Elles restent fraîches à longueur d'année : avantage recherché qui compense l'inconvénient signalé plus haut. [16]

Ce qui frappe dans la rue du ksar, c'est son anonymat. Les maisons refusent de se singulariser par une touche personnelle. Elles invitent le passant à baisser le regard : elles l'y obligent puisqu'il sait

qu'il n'y a rien à voir sinon un mur qui s'étire de chaque côté de la rue avec des portes closes et sévères. L'esthétique externe est une pathologie redoutée des médinas. La beauté est intérieure : parures féminines, objets traditionnels peints, ciselés, modelés ou tissés ; décoration de la maison, etc. Le nomade sédentarisé réalise mieux cette exigence de mise à l'abri de son épouse des regards exogènes. [16]

S'il fallait caractériser la cité musulmane à partir du cas de Bou-Saâda, on serait tenté de dire qu'elle s'assume autour de trois pôles : la mosquée, l'enceinte et le souk. Le premier élément personnifie la loi, l'enseignement, le sacré ; le second assure la défense du système ; le troisième garantit la subsistance. [16]

Les mutations sociologiques et culturelles apparaissent aussi avec le déplacement géographique des résidences.

Tout comme les ruraux qui abandonnent le douar, les Ksouriens qui optent pour la cité moderne doivent se défaire de schémas et de comportements ancestraux pour en épouser d'autres. L'anonymat est pour eux un des caractères difficilement supportés des résidences collectives et verticales.

La médina avait forgé l'esprit d'entraide, ne fût-ce que parce qu'on était le plus souvent à la fois voisin et parent. L'immeuble rassemble des citoyens d'une ville et non des éléments d'un groupe ethnique.

De même, ceux qui troquent leur maison du ksar contre un F4, découvrent qu'ils perdent une indépendance pour en prendre une autre. Ils habitaient un espace horizontal délimité et clôturé : indépendance géographique. Mais ils appartiennent au groupe (le *derb*, parfois le quartier). Maintenant, ils occupent un appartement lié aux autres dans une même structure bâtie, mais les familles sont étrangères les unes aux autres : indépendance agnatique. [16]

Entre la maisonnette insalubre du ksar et le logement du type HLM comme ceux qu'offre la cité située au sud de la ville, sur la route de Djelfa, la commune a trouvé un moyen terme heureux : le lotissement. Celui-ci en laissant à l'occupant l'autonomie de l'habitat horizontal, lui apporte les éléments du confort : eau courante, électricité, espace. Il reste que le voisinage, même dans l'horizontalité, ne sera pas, lui, agnatique. Ce lotissement constitue un élément déterminant du nouveau tissu urbain et comprend des infrastructures essentielles pour la jeunesse : école, centre de vie et terrain de sport. Au fond, l'idéal urbanistique, H. Lefebvre l'a rendu par cette formule : « Il s'agit de créer, avec la ville nouvelle, la vie nouvelle dans la ville ». [16]

V-5-4-6- L'habitat

Le logement oasien est, de toute évidence, une des questions majeures qui se posent aux responsables de Bou-Saâda. Nous allons différencier dans notre approche, la maison traditionnelle du noyau ancien et l'habitat des quartiers récents. La demeure de la médina a sa logique interne. Conçue pour abriter toute une vie un foyer, mais toute la journée la femme, sa morphologie est essentiellement prévue pour répondre à ce double souci. Mais, en tout état de cause, comme l'écrit Chombart de Lauwe, « le plan d'un logement ne peut être élaboré sans définir la civilisation dans laquelle vivent ses occupants. Ici, il convient de souligner la différence établie à juste raison par H. Lefebvre, qui distingue habitat (description morphologique) et habiter (activité, situation). Si la médina n'était pas habitée, « meublée » en quelque sorte par des hommes et des femmes, elle pourrait, en fait d'étude, faire l'objet d'une fidèle et minutieuse photographie. Mais l'important n'est pas dans la mesure des

espaces et les surfaces corrigées en soi-même ou dans les matériaux et leurs couleurs considérés hors de leur soi-même ou dans les matériaux et leurs couleurs considérés hors de leur contexte. C'est la relation de l'humain à l'environnement, et la sémiologie qui s'en dégage qu'il est surtout intéressant d'appréhender. [16]

S'agissant de composants de la maison, ils sont issus, comme ses habitants, du terroir. L'oasis traditionnelle d'antan, celle qui a construit sa médina, avait le souci de puiser sa force de travail, sa matière première et sa technologie dans les virtualités et les énergies locales.

L'habitation ksarienne est ainsi l'expression d'une authenticité culturelle. Le toub n'est rien d'autre qu'une brique de terre glaise locale puisée dans des carrières à ciel ouvert et séchée au soleil. La terre battue était utilisée comme liant pour cimenter le pisé. Les boiseries provenaient toutes de la palmeraie. La toiture se réalisait avec du « djerid », branches de palmiers coupées dans la frondaison des arbres ou, pour les plus courtes, prises sur le stipe élagué. Le bois des montagnes ou du palmier encore offrait les piliers, les poutres et les portes. La toiture se composait ainsi de madriers qui supportaient des branches lesquelles étaient recouvertes d'une épaisse couche de terre détremnée. [16]

Ces matériaux naturels formant les biens immeubles allaient de pair avec les instruments quotidiens du ménage, biens meubles, eux aussi originaires de Bou-Saâda : nattes en alfa pour recouvrir le sol en terre battue ; tapis et tentures tissés localement et servant de literie ou de salon ; poteries en argile modelées sur place ; plateaux de la vannerie traditionnelle et cuivres qui faisaient la fierté de la dinanderie oasisienne. Il se dégageait de cet ensemble une densité poétique et une chaleur de foyer que ne permettent plus le parpaing, le béton, les polymères et le fer blanc. Il n'est pas étonnant que le cadre domestique traditionnel ait développé le goût du cercle vespéral ou nocturne autour d'un conteur et qu'il ait tant renforcé les liens du sang. Structures spatiales et structures sociales s'y trouvaient accordées.

Il faut croire qu'une civilisation est un tout. Elle est à l'image d'un organisme vivant : dès qu'on l'ampute d'un organe essentiel, il vacille. C'est pourquoi la civilisation oasisienne trébuche dans son infirmité. L'habitat n'était pour elle, vêtement sur mesure, que le cadre habité : celui-ci obéissait à des normes ; ce n'était pas le mode de vie qui était au départ tributaire du bâti. La maison oasisienne d'autrefois était conçue pour permettre le tissage féminin, les réunions familiales, la continuation des ancêtres à travers les récits légués par eux, la pratique de l'Islam, le recyclage des produits locaux, l'accueil des amis et le voisinage, à toutes fins utiles, des éléments de la tribu. [16]

Nous avons remarqué que les entrées sont prévues pour éviter l'intrusion brutale d'un étranger dans l'espace familial : la rue le prévient, l'impasse le met en garde, le vestibule le somme. Seul l'invité peut franchir le seuil de la maison. [16]

La cour est le lieu géométrique de la maison. C'est le périmètre aérien de la femme. La cour et la terrasse sont les deux espaces aérés qui reçoivent le soleil, constituent pour les enfants une aire de jeu et des lieux de travail et de détente. Le premier étage comprend le stah et de une à trois chambres. [16]

V-5-5 Le matériau utilisé pour les habitats individuels :

Dans la région que nous avons étudiée, le torchis sur clayonnage est encore la technique de construction la plus répandue dans le milieu rural (la brique crue moulée a néanmoins tendance à se développer) alors que les habitants disent connaître aussi la technique du pisé élevé grâce à des banches. Ils avancent que la terre est trop sableuse pour utiliser cette technique de montage.

La terre est parfois mêlée à des fibres ou directement extraite de termitières abandonnées dont les qualités de matériau de construction sont largement reconnues. [9]

Les briques crues prismatique sont fabriquées avec de la boue (terre + eau) épaisse et malléable à laquelle on ajoute de la paille comme dégraissant. Les briques sont formées dans un moule généralement en bois, le module est variable (même dans une aire restreinte) autour de 50 cm x 25 cm x 15 cm max. [9]

V-5-5-1 - Technique de montage :

Pour les habitations simples (sans étage), la présence d'un maçon n'est pas obligatoire. Pour les plans rectangulaires, on observe généralement des fondations en pierre ou en brique. À Djenné, elles sont posées sur un lit de paille et de balle de maïs, sorgho, blé, mil et riz pour le drainage. Les murs extérieurs, porteurs, sont généralement chaînés et souvent renforcés par des contreforts. [9]

V-5-5 -2- Dégradation :

Lors de leur dégradation, les murs en briques crues présentent généralement une usure différentielle entre les briques et le liant, formant une érosion en hérissron (disparition progressive du liant qui fait ressortir les briques, fig. 2) ; parfois, à l'inverse, ce sont les briques qui s'érodent plus rapidement que le liant. Ces deux phénomènes peuvent se rencontrer simultanément sur le même mur. Le plan circulaire résiste idéalement aux forces mécaniques que subissent les murs et présente les caractéristiques optimales de tenue de charge. A contrario, les constructions de plan rectangulaire en brique crue subissent des forces verticales et horizontales transmises par les coins. Ainsi, la pression horizontale provoque généralement l'écroulement des murs en brique crue vers l'extérieur d'où la nécessité (par prévention ou pour réparation) de contreforts et ceci d'autant plus si la charpente est prise dans le mur et contribue à la fois aux pressions horizontales et au « sciage » vertical du mur. Donc la dégradation est une donnée intrinsèque à l'habitat en terre crue. Elle est un ensemble de phénomènes complexes, difficiles à décoder, analyser et classer chronologiquement. Il paraît évident que l'on ne peut alors envisager la fouille potentielle d'un habitat présentant des similitudes avec celui que nous avons étudié sans tenir compte des processus de dégradation et sans développer une réflexion sur le matériau terre. [9]

V-6-Conclusion:

Nous avons donc vu brièvement les propriétés thermo physique du matériau terre, un matériau de construction et la sélection des matériaux dans les régions chaude et froide, comment construire dans les régions désertiques aussi nous avons défini la haute qualité environnementale et sa relation avec la bioclimatique.

Vivre dans une maison en terre apporte du confort, un sentiment de sécurité et une sensation de bien-être. Les constructions en terre crue se retrouvent dans différentes régions de l'Algérie, citons par exemple quelques techniques de construction en terre crue utilisées à Bousaada, avec les spécifications des matériaux utilisées et techniques de montage des murs et à la dégradation de ces derniers.

Les conditions climatiques et environnementales de cas étudié- Bou Saada -(saison sèche alternée avec par fois de fortes pluies, absence de protection contre l'érosion) permettent rarement une bonne conservation des vestiges architecturaux en terre.

Chapitre VI : Identification Expérimentale et Analyses des Résultats.

VI-1- Introduction:

Les blocs de terre crue compresses constituent depuis une ou deux décennies d'années une nouvelle alternative aux matériaux de construction classiques tels que le béton ou l'acier. Bien que la méthodologie de fabrication des blocs ait été maîtrisée et que les matériels aient été conçus pour permettre l'obtention d'un produit durable et performant, il n'existe pas encore de norme d'essai reconnue de manière universelle pour évaluer la résistance en compression et en traction de ces blocs. Ces essais peuvent également être appliqués à des éprouvettes de mortier de terre coulées dans des moules adéquats.

Pour valider les procédures d'essais, de nombreux essais de comparaison ont été réalisés avec différents matériaux pour lesquels les identifications et les paramètres de mise en oeuvre ont été très précisément enregistrés afin de vérifier la reproductibilité des résultats. D'autre part, des essais ont été faits dans des laboratoires, notamment au LPEE¹, permettant ainsi de vérifier la faisabilité de notre action expérimentale.

Dans ce chapitre nous exposons quelques propriétés des composants des terres, le matériel utilisé ainsi que le programme et les protocoles d'essais et finalement présenter et analyser les résultats obtenus.

VI-2- Contexte général de l'étude:

Cette recherche a pour objectif d'essayer d'améliorer les caractéristiques de la brique de terre crue par stabilisation à l'aide de différents moyens physico chimique et procéder à une nouvelle action expérimentale pour réaliser les essais mécaniques de compression sur des blocs cubiques et parallélépipédiques de terre crue compressée traitée et non au ciment, fibres et résine destinés à être utilisés dans les murs ou les structures en maçonnerie de terre. Les mêmes essais ont été réalisés auparavant au Laboratoire des Géo- matériaux de l'ENTPE² mais seulement sur des blocs de terre stabilisés par ciment.

Nous avons tenu, dans le développement du programme expérimental qui suit d'utiliser deux types de matériau terre :

Le matériau A convenable à la technique du bloc de terre comprimée. (Terre de M'sila)

Le matériau B convenable à la technique de la brique de terre cuite. (Terre de Medjana)

À l'aide des analyses chimiques classiques par dosage, nous avons pu déterminer les constituants de nos produits. Nous avons pu déterminer les paramètres de production des éprouvettes cubiques, traitées ou non, à savoir la teneur en eau optimale. Le compactage statique se fait au moyen d'une presse hydraulique dans des moules métalliques (10x10x10cm³), alors

-1- LPEE : laboratoire publique d'essais et d'études, Casablanca, Maroc

-2- L'ENTPE : Ecole Nationale des travaux publique de l'état, Vaulx-en-Velin, FRANCE

Que les éprouvettes parallépipédiques sont obtenues par assemblage de deux blocs cubiques.

L'ensemble des produits fabriqués ont subi la cure dans une étuve à 60 degrés afin d'accélérer le séchage pendant 8 à 10 jours -c'est le meilleur délai obtenu pour obtenir un séchage total après plusieurs tests effectués- et plus de 20 jours à l'air libre avant de faire l'objet d'essais de compression simple.

Donc cette investigation expérimentale comprend essentiellement, les deux parties suivantes :

-Etude de l'influence des ajouts stabilisants sur les propriétés des terres et la durabilité des briques de terre comprimée obtenues à base des paramètres variés tel que le type et le pourcentage d'ajouts.

-La deuxième partie consiste à déterminer le type et le pourcentage d'ajout – stabilisant- qu'on préfère à base du meilleur résultat obtenu et par conséquent la proportion optimale voulue.

VI.3 Matériels Utilisés :

VI.3.1 La presse hydraulique :

La presse automatique utilisée dans ce programme de recherche permet d'effectuer les essais de compression sur des éprouvettes en béton de toute dimension même l'éprouvette cylindrique 16/32.

VI.3.2 Paramètres de fabrication des éprouvettes - compactage dynamique - :

Avant de procéder à la fabrication des deux séries d'éprouvettes, respectivement traitées aux différents pourcentages en ciment 0, 5, 10, 15 et à 20% de ciment et ayant pour dimensions uniques une section de 100 x 100 mm². et un élancement nul, nous avons déterminé les paramètres de fabrication respectifs à savoir les limites d'atterberg.

La même force de compression a été appliquée sur les deux types de terre.

VI.3.2-1 - Choix des fibres :

Le premier type de fibre est de nature végétale (paille) et le deuxième s'appelle fillasse utilisée généralement dans la fabrication des éléments décoratifs en plâtre.

VI.3.2-2 - Choix de la terre :

Le choix des deux types de terres a été fait avec une manière utile car la première –terre de M'SILA- a été utilisée avant notre étude d'environ quarantaine d'années dans la confection des briques de terre crue, et la deuxième –terre de MEDJANA- amène d'un nouveau gisement utilisé pour la briquetterie de GUEROUACHE.

VI.3.2-3 – Tamisage :

Toute la fraction supérieure à 5 mm ont été éliminées pour les deux types de terre.

VI.3.2-4 - Temps de malaxage :

Suivant le matériel disponible -malaxeur a béton- le temps d'opération pour les tout les blocs stabilisés au ciment, fibre ou résine est de 2 min a avant d'ajouter l'eau et 3 à 4 minutes après l'addition de l'eau de gâchage.

VI.3.2-5 - Temps de retenue :

Le temps entre le malaxage et le moulage a été très réduit notamment pour les blocs de terre comprimés stabilisés au ciment, afin d'éviter une prise anticipée du ciment et la création de concrétions qui seront néfastes à la résistance mécanique des blocs.

VI.3.2-6 - Mode de façonnage : Puisque L'influence du mode de moulage ou du mode de compactage est très importante sur la résistance finale du matériau à la déformation on a choisie le façonnage dans des moules métallique 10X10X10 cm à la presse hydraulique sous une pression constante (1,1 Mpa).

VI.3.2-7 - Mode de séchage :

Les échantillons de terre comprimée traitée ou non traitée, ont subi une cure a l'aire libre pendent 36 a 48 heurs et 08 a 10 jours dans une étuve (60 C°) avant de faire l'objet d'essais de résistance mécanique à la compression à 28 jours. Cette cure est définie comme suit:

Brique	durée de cure
Traitée	24 h à 20 C° et 8 à 10 jours à 60 C°.
Non traitée	48 h à 20 C° et 8 à 10 jours à 60 C°.

Tab. 6 – 7 : durée de cure des briques de terre.

Donc :

Les éprouvettes fabriquées sont au nombre de 9 pour chaque stabilisant. L'ensemble des éprouvettes traitées a été compacté avec un effort moyen de 11,00 KN, soit une pression de 1,10 MPa. La durée de compactage moyenne est de l'ordre de 30 secondes. Leur poids moyen est voisin de 1 520 g, leur hauteur moyenne est de 9 cm et leur densité humide moyenne de 1,55 g/cm³.

Les éprouvettes non traitées ont été compactées avec plus au moins le même effort moyen de l'ordre de 11.00 KN, soit une pression de 1.10 MPa. La durée de compactage moyenne de l'ordre de 35 secondes. Le poids moyen des éprouvettes est voisin de 1740 g et leur hauteur moyenne est de 9cm. Leur densité humide, quant à elle est de 1,79 g/cm³.

Les blocs produits sont des blocs cubiques de dimension 10 x 10 x 10 cm et par la suite en fait l'assemblage des blocs parallélépipédiques de dimensions 20 x 10 x 10 cm. Ils sont confectionnée a l'aide d'un malaxeur à béton, le malaxage se fait à sec pendant deux minutes (2 min) ensuite à l'eau

pendant trois minutes (3 min), le remplissage des éprouvettes se fait manuellement à l'aide d'une coupelle, on applique une force sur le bloc de terre avec une presse qui développe un effort de compactage nettement inférieur à 1,2 MPa, c'est la force avec laquelle ont été produites toutes les éprouvettes.

Finalement on obtient des éprouvettes cubiques témoins et d'autres traitées au ciment, fibres et résine. Rappelons que chaque éprouvette parallélépipédique est obtenue par assemblage de deux blocs cubiques, au moyen d'un joint en mortier de terre de 1 cm et les dimensions d'une éprouvette sont de 20x 10 x 10 cm³.

VI-4 Méthodologie de travail :

VI-4-1-Stratégies:

On ne peut intervenir que sur deux niveaux de la terre elle-même: sa texture et sa structure:

- Réduire le volume des vides entre les particules: agir sur la porosité.
- Colmater les vides qui ne peuvent être supprimés: agir sur la perméabilité.
- Améliorer les liens entre les particules: agir sur la résistance mécanique.

VI-4-1-1-Les principaux objectifs sont:

- Obtenir de meilleures caractéristiques mécaniques et augmenter la résistance à la compression, Obtenir une meilleure cohésion.
- Réduire la porosité et les variations de volume: gonflement- à l'eau - ; retrait -à l'air-.
- Améliorer la résistance à l'érosion du vent et de la pluie: réduire l'abrasion de surface et l'imperméabiliser.

VI-4-2-Procédés:

On a utilisé deux procédés de stabilisation à la fois.

VI-4-2-1 - Stabilisation mécanique: c'est le compactage de la terre qui modifie sa densité, sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité.

VI-4-2-2 - Stabilisation physico chimique: par des matériaux ajoutés à la terre qui peuvent modifier ces propriétés, soit du fait d'une réaction physicochimique entre les particules et le matériau, soit en créant une matrice qui lie ou enrobe les particules.

La réaction physico-chimique peut entraîner la formation d'un nouveau matériau: issu d'une réaction entre l'argile et le ciment par exemple.

VI-4-3- Moyens de stabilisation:

Pour les terres utilisées dans notre travail expérimentale, on a procédé à une stabilisation physico mécanique par compression, ajout de fibres et chimique au même temps, la stabilisation chimique s'opère par ajout de ciment et résine.

Chaque stabilisant n'agit pas obligatoirement selon un procédé exclusif mais il peut aussi cumuler plusieurs procédés physique et chimique.

VI-4-4 Les étapes de travail à suivre:

Les deux terres utilisées pour élaborée ce travail sont obtenues de deux sites différents (terre A prélevée de M'sila, terre B prélevée de Medjana-BBA-), la première étape consiste à la préparation des deux terres et la détermination de leurs propriétés, elle se divise en trois parties :

La 1^{ère} partie :

Dans cette partie, on détermine les caractéristiques principaux de chaque type de terre (teneur en eau, masses v; limites d'atterberg; ...).

La 2^{ème} partie :

On prépare les matières premières, procéderont par séchage, concassage et finalement le tamisage :

-Le séchage : Il a été effectué dans une étuve de séchage à température variant entre 100 et 110 C° durant 24 h il a pour but de déterminer le taux d'humidité et de sécher la matière première.

-Le concassage : ayant pour objectif de faciliter le tamisage, le concassage a été effectuée manuellement sur un seul type de terre -terre B-.

-Le tamisage : Il a été réalisé au laboratoire dans une tamiseuse normalisée.

La 3^{ème} partie :

Cette partie est consacrée à la formulation des terres, elle se divise en deux étapes :

1^{ère} étape : formulation des terres témoins (non traitée).

2^{ème} étape : formulation des mêmes terres avec ajout, pour chaque type une quantité de différente fraction de stabilisants par rapport au poids de terre soit ciment, fibres ou résine hypoxyde.

Après l'obtention des produits formulée on détermine pour chaque type les propriétés suivantes :

1. les propriétés physiques :

La densité sèche (de la brique), la masse volumique apparence, la Granulométrie.

2. les propriétés rhéologiques :

Consistance normale, délais de prises (sur la pâte de terre stabilise au ciment, résine).

3. Les propriétés mécaniques :

Essais de rupture (plus de 28 jours), essais d'érosion, essais d'absorption.

4. Les analyses chimiques :

La composition chimique par la méthode classique par dosage.- essai effectuer à la cimenterie de AIN KEBIRA –SETIF-.

VI-5 Propriétés essentielles des constituants :

VI-5-1 Les compositions chimiques des ajouts :

Ajout \ élément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P.A.FF	Σ
<i>Ciment</i>	32.18	4.33	4.04	52.52	1.46	1.8	3.08	99.41
<i>Résine</i>	Polyamine Cycloaliphaatique							

Tab. 6- 1 : compositions chimique des ajouts.

VI-5-2 les caractéristiques de la résine hypoxyde (MEDAPOXY SOL –Elt.B) :

VI-5-2-1-caractéristiques générales :

Toutes les résines GRANITEX ont différents effets qui peuvent être physique, mécanique ou physico-chimique.

Le “ MEDAPOXY SOL –Elt.B” est fourni sous forme de kit pré dosé comprenant 2 composants:

-Elément A: Résine

- Elément B: Durcisseur

Sont rapport de mélange est:

Elément A : 1000g Elément B : 350g

Le “ MEDAPOXY SOL –Elt.B” agit sur la terre et ces ajouts en améliorant son adhérence, étanchéité, résistance chimique (résistant au produits agressif), résistance mécanique, couleur, aspect lisse.

Le “ MEDAPOXY SOL –Elt.B” favorise un nettoyage facile –anti poussière-, il augmente la résistance mécanique aux jeunes âges.

VI-5-2-2-Domains d'application : Il peut être utilisé dans agro-alimentaire; automobile; chimie; revêtement de sols; pharmaceutique et électronique.

VI-5-2-3-Caractéristique chimique –physique : Le ‘‘ MEDAPOXY SOL –Elt.B’’ est une résine époxy autolissante a haute performance :

<i>Etat physique</i>	<i>Liquide</i>
<i>Couleur</i>	<i>Incolore</i>
<i>Odeur</i>	<i>Légère</i>
<i>Point d'ébullition</i>	<i>Sup a 200°C</i>
<i>Point d'éclair</i>	<i>Sup a 105°C</i>
<i>Densité à 20°C</i>	<i>0.95± 0.01</i>
<i>PH 20°C</i>	<i>Environ 13</i>
<i>Température d'auto –inflammation</i>	<i>Néant</i>
<i>Risque d'explosion</i>	<i>Néant</i>
<i>Inflammabilité</i>	<i>Non inflammable</i>
<i>Solubilité dans l'eau</i>	<i>Non miscible</i>

Tab.6 – 2 : Caractéristique chimique –physique de la résine‘‘ MEDAPOXY SOL –Elt.B’’. [17]

VI-5-2-4-Dosage :

Les produits ‘‘ **MEDAPOXY SOL –Elt.B**’’ se dose généralement vers 1.2 kg/m2. (Cas d'imprégnation)

VI-5-2-5-Stockage et conservation :

Le produit se conserve jusqu'à 06 mois a l'abri de la chaleur et a l'humidité dans l'emballage à compter de la date de sa fabrication.

VI-6- Les compositions des différents types des terres étudiés :

Avant de citées les différentes mélanges préparer on note que le choix des % d'ajouts stabilisant n'est pas hasard mais après une consultation de plusieurs travaux effectuer dans ce sens.

Les Terres préparés (terre + ajout) à différentes proportions sont :

a- Terre A avec ajout Ciment : (TA) 100% TERRE.

(TAC1) 95 % **TERRE** + 5 % **CIMENT**.

(TAC2) 90 % **TERRE** + 10 % **CIMENT**.

(TAC3) 85 % **TERRE** + 15 % **CIMENT**.

(TAC4) 80 % **TERRE** + 20 % **CIMENT**.

b- Terre B avec ajout Ciment :

(TB) 100% TERRE.

(TBC1) 95 % **TERRE** + 5 % **CIMENT**.

(TBC2) 90 % **TERRE** + 10 % **CIMENT**.

(TBC3) 85 % **TERRE** + 15 % **CIMENT**.

(TBC4) 80 % **TERRE** + 20 % **CIMENT**.

c- Terre A avec ajout Fibre 1 :

(TAF1) 99 % **TERRE** + 1 % **FIBRE 1**.

(TAF2) 99 % **TERRE** + 1 % **FIBRE 2**.

d- Terre B avec ajout Fibre 2 :

(TBF1) 99 % **TERRE** + 1 % **FIBRE 1**.

(TBF2) 99 % **TERRE** + 1 % **FIBRE 2**.

e- Terre A avec ajout Résine :

(TAR) 98 % **TERRE** + 2 % **RESINE**.

f- Terre B avec ajout Résine :

(TBR) 98 % **TERRE** + 2 % **RESINE**.

g- Terre A avec ajout (Ciment+Résine) :

(TAC1R) 93 % **TERRE** + 5 % **CIMENT** + 2 % **RESINE**.

h- Terre B avec ajout (Ciment+Résine):

(TBC1R) 93 % **TERRE** + 5 % **CIMENT** + 2 % **RESINE**.

Les terres témoins :

TA t a : ancienne terre témoin.

TA t : terre A témoin.

TB t : terre B témoin.

Ajouts %d'ajout	Terre A				
	Ajout ciment	Ajout fibre 1	Ajout fibre 2	Ajout résine	Ajout ciment+résine
0	Témoin	Témoin	Témoin	Témoin	Témoin
1	—	TAF1	TAF2	—	—
2	—	—	—	TAR	TAC1R
5	TAC1	—	—	—	
10	TAC2	—	—	—	—
15	TAC3	—	—	—	—
20	TAC4	—	—	—	—

Tableau 6.3 : Les différentes appellations des mélanges- terre A.

(T : Terre ; C : Ciment ; A : 1 er type de terre ; F: Fibre R: résine)

Ajouts %d'ajout	Terre B				
	Ajout ciment	Ajout fibre 1	Ajout Fibre 2	Ajout résine	Ajout ciment+résine
0	Témoin	Témoin	Témoin	Témoin	Témoin
1	—	TBF1	TBF2	—	—
2	—	—	—	TBR	TBC1R
5	TBC1	—	—	—	
10	TBC2	—	—	—	—
15	TBC3	—	—	—	—
20	TBC4	—	—	—	—

Tableau 6.4 : Les différentes appellations des mélanges -terre B.

(T : Terre ; C : Ciment ; B : 2 eme type de terre F: Fibre R: résine)

VI-7- Essais et équipements :

Le but des analyses effectuer est d'apprécié la qualité des produits en question.

VI-7-1- Détermination de la Densité Apparente:

La densité apparente d'un matériau est le poids d'une Unité de volume de matériau pores compris. Il s'exprime en g/l ou en Kg/m³.

A cet effet on se sert de l'équipement suivant :

- Dispositif Entonnoir ;
- Récipient – Volume 1 litre ;
- Réglette ;
- Balance.

-Principe :

- Tarer le récipient P1.
- Remplir le récipient P1. posé au- dessous de l'axe du dispositif Entonnoir avec la poudre du produit.
- Faire l'opération sans vibration. Raser avec la réglette appuyée sur les bords de récipient.
- Nettoyer l'extérieur du récipient.
- Peser de nouveau le récipient rempli P2

$$\text{Soit la densité} = \frac{P2 - P1}{V} \text{ g/l,}$$

VI.7.2. Détermination des propriétés rhéologiques :

Il n'existe pas encore de norme d'essai reconnue de manière universelle pour évaluer les propriétés du matériau terre stabilisé en ciment ; alors on se base sur les manipulations utilisées sur les ciments.

Les essais de consistance se feront sur une pâte de terre ou de terre stabilisée en ciment, d'autres essais peuvent également être appliqués à des éprouvettes de mortier de terre coulées dans des moules adéquats telle que la résistance mécanique à la compression.

VI.7.2.1. Consistance normale :

Cet essai est effectué sur les terres stabilisées en ciment ; résine-, la pâte préparée est différente de celle pure pour chaque mélange c'est à dire qu'on opère avec l'appareil de VICAT, la lecture donne l'épaisseur de la pâte restante entre l'extrémité inférieure de sonde et le fond du moule, quand celle-ci cesse de s'enfoncer à l'aide de son propre poids est de 6 ± 1 mm.

a- Spécification de l'appareil de VICAT :

L'appareil de VICAT est composé essentiellement d'un piston vertical immobile, mené à son sommet d'un plateau destiné à recevoir une charge, et portant un curseur de déplacement devant une règle graduée, à sa partie inférieure, le piston peut recevoir soit la sonde, soit une partie aiguille, la partie mobile avec la bande et l'aiguille pèse 300 ± 1 g avec une surcharge 700 ± 2 g .

b- Préparation de la pâte :

On verse dans le malaxeur la quantité d'eau préalablement déterminée par des talonnements successifs de manière à réaliser la consistance normale, lui ajouter la quantité de terre qu'il faut pour remplir le moule tronconique.

c- Confection de l'éprouvette :

Avec la pâte ainsi préparée, on remplit le moule tronconique, qui est constitué par un anneau reposant sur une plaque support, puis araser avec une spatule en la déplaçant avec un mouvement de scie de faible amplitude sur la surface supérieure.

d- Vérification de la consistance normale :

Placer le moule de la pâte dans l'axe de la sonde et laisser descendre cette dernière perpendiculairement à la surface de la pâte, et l'immobiliser à son contact, puis abandonner à elle-même sans vitesse initiale.

Procédé à la lecture de l'épaisseur de la pâte quand la sonde a cessé de descendre sous son propre poids à 6+ 1 mm au fond.

VI.7.2.2. Essai de prise:

L'essai de prise a pour but de déterminer le temps de prise, c'est à dire la durée qui s'écoule entre l'instant où le matériau a été mis en contact avec l'eau de gâchage et le début de prise et fin de prise on détermine le temps de prise à l'aide de l'aiguille de VICAT qui enfonce dans le moule tronconique rempli de pâte préparée.

Le début et la fin de prise sont réalisés conformément à la norme NFP15-413-pour mortier ciment-, à la spécification ci-après.

a- Technique de l'essai :

On détermine l'essai de prise avec l'appareil de VICAT, sur une pâte normale.NFP.15-403-pour mortier ciment-.

Après avoir préparé la pâte stabilisée, il faut remplir immédiatement le moule tronconique et aplanir la surface supérieure avec une spatule.

Placer le moule rempli de la pâte sous l'axe de l'aiguille, laisser descendre, cette dernière perpendiculairement à la surface et l'immobiliser à son contact, puis l'abandonner sans vitesse initiale.

- *Le début de prise* : c'est l'instant où l'aiguille cesse de s'enfoncer et s'arrête à 1mm au fond du moule pour une pâte normale.
- *La fin de la prise* : c'est l'instant où l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte.

VI.7.3 Détermination des propriétés mécaniques- Rc- :

Le présent mode opératoire a pour but de définir l'essai de compression permettant de déterminer la contrainte de rupture à la compression des terres stabilisées.

VI.7.3.1-Préparation du mortier:

Le mortier stabilisé se compose en masse d'une partie de terre et du liant à ajouter, et une quantité calculée d'eau en fonction des résultats obtenus à travers les essais de consistance -limites d'atterberg (soit 25%) plus la quantité nécessaire pour l'hydratation complète du ciment(soit E/C=0,5).

La masse des constituants nécessaires aux essais est déterminée en fonction de l'éprouvette à préparer, elle est pesée avec une précision de 0.5%.

Dans le cas de la préparation des six éprouvettes 10×10×10, les quantités sont respectivement les suivantes : *EXEMPLE : TAC1* -voir tableau 6-3- (poids total sans compte l'eau de gâchage est 7200g)

Terre A : 6840g.

Ciment : 360g (soit 05%).

Eau : $1800 + 360/2 = 2160$ g.

VI.7.3.2-Confection des éprouvettes :

- On prépare un mortier conformément au mode proposé Avec.
- un malaxeur à béton.
- Les moules à éprouvettes cubiques et accessoires.
- On mélange (terre + stabilisant +eau) dans le malaxeur à béton.
- On introduit le mélange dans le moule à éprouvettes cubiques 10×10×10 cm.
- On fait 25 coups de chute pour chaque'un des moules remplis sur une plate forme d'une hauteur varie entre 10 et 15 cm pour faire sortir le max des bulles d'air existant au sein de la pâte.
- On racle sur la surface supérieure l'excès de pâte à l'aide d'une règle humidifiée, ensuite on fait passer les éprouvettes à la presse pour appliquer une force de compression varie entre 10 à 12 bar, afin d'avoir un produit plus compact.
- Après 24 heures on démoule, et on laisse les éprouvettes à l'air libre pendant 48 heures et finalement passer les éprouvettes dans l'étuve à une température 60°C.
- Les essais doivent être faits après 28 jours d'âge.

VI.7.3.3- Essai de rupture par compression :

Chaque éprouvette est essayée en compression sur ces faces latérales de moulage, sous une section de 10×10 cm², entre deux plaques de métal dur d'au moins 10mm d'épaisseur , de 150mm + 0.1mm de largeur, l'éprouvette est placée entre elle de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1cm et que les arrêtes longitudinales d'éprouvettes soient perpendiculaires à celle des plaques.

Les plaques sont guidées sans frottement appréciable au cours de l'essai , de manière à avoir la même projection horizontale, l'une d'elles peut s'incliner légèrement pour permettre le contact parfait , plaque –faces d'éprouvette.

VI.7.4 Les analyses chimiques :

Une quantité de sol prélevée de l'échantillon A et B a été analysée chimiquement par la méthode classique- dosage- dans la cimenterie de Ain Kebira –Sétif-.

Les résultats obtenus montrent que les deux matériaux terre sont constituer principalement de matériaux silico -alumineux (66%),(58%), de carbonate de chaux CaCo3: (16 %) , (21 %)et de magnésie MgCo3 : (6%),(8 %) Les matières organiques, les chlorures et les sulfates ont été également doses et sont présents dans les proportions suivantes:

VI.7.5 Caractéristiques Géotechniques :

Les matériaux retenues pour cette étude sont prélevée de deux sites différentes, le premier est déjà utilisée dans la fabrication de la brique de terre traditionnelle a M'sila et le deuxième utilisée dans la fabrication de la brique de terre cuite a Medjana.

Nous avons prélevé de ces matériaux suffisamment de quantités ; ensuite nous avons procède aux essais d'identification.

VI.7.5.1 Essais d'identification :

a- Granularité:

	Terre A	Terre B
Sables %	29	41
Fines %	55	44
Argiles %	26	15

Tab. 6 – 5 : granularité des deux types de terre utilise.

***Structures des deux types de terre utilisée :**

Les deux types de terre utilisée sont de structures différentes :

1 –le premier type de terre est de structure continue; les éléments inertes sont pris dans une masse d'argile de limon.

2- le deuxième type de terre est de structure particulaire -de type graveleuse-; qui présente de très faible liaison par l'argile entre les éléments inertes.

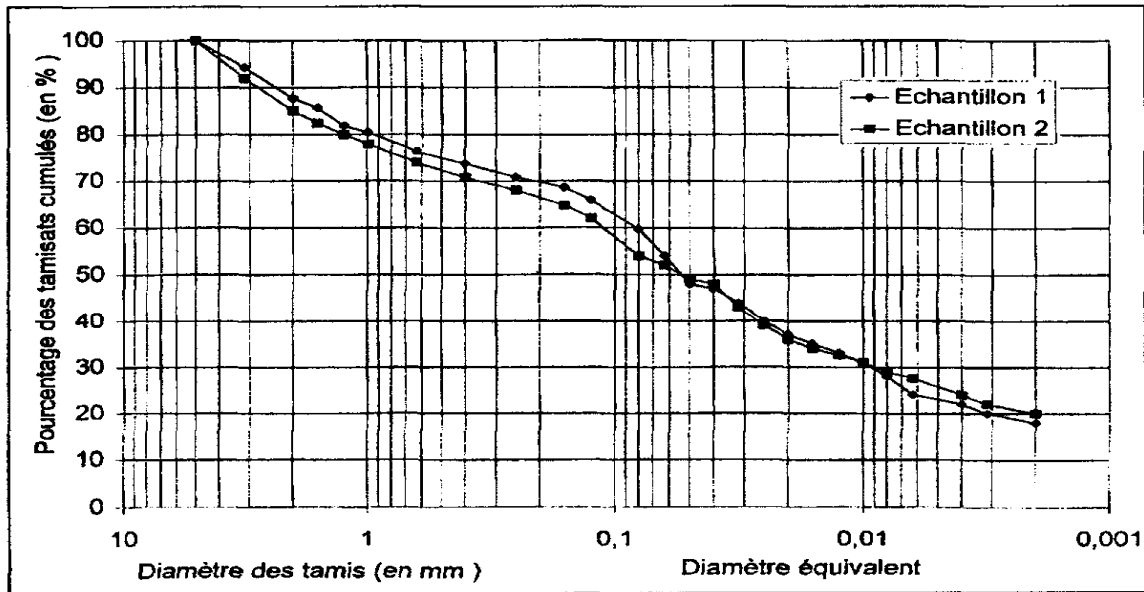


Fig. 6-1 la courbe granulométrique des deux terres utilise

b- Plasticité:

	Echantillon A	Echantillon B
Degré d'humidité	6 %	7 %
Masse volumique apparente	1.074	1.140
Plasticité		
LI (limite de liquidité)	31.37	30
LP (limite de plasticité)	25	23
IP (indice de plasticité)	6,37	7
Poids moyen avant séchage	1562 g	1895 g
Poids moyen après séchage	1425 g	1669 g

Tab. 6 – 6 : plasticité des deux types de terre utilise.



Fig-6-2- Essai de compressions sur échantillon de terre cubique

VI-8- Présentation des résultats :

VI-8-1- Résultats des essais effectués sur le premier type de terre –Terre A-

VI-8-1-1- Résistance à la compression :

a - Sur éprouvettes cubique :

	<i>Témoin</i>		<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>T t A</i>	<i>TAC1</i>	<i>TAC2</i>	<i>TAC3</i>	<i>TAC4</i>	<i>TAF1</i>	<i>TAF2</i>	<i>TAR</i>	<i>TACR</i>
<i>R1(bars)</i>	19.20	43.80	48.10	59.03	62.67	68,00	39.90	33.72	57.00	50.85
<i>R2(bars)</i>	22.64	46.09	47.71	60.76	65.78	63.98	42.96	33.04	56.88	47.66
<i>R3(bars)</i>	16.51	46.46	50.50	54.33	60.70	62.78	38.31	32.87	58.74	45.97
<i>R moy (bars)</i>	19.45	45.45	48.77	58.04	63.05	64.92	40.39	33.21	57.54	48.16

Tab. 6 – 8 : résultats de test de compression sur éprouvettes cubique –terre A- de M'sila.

T S C *Terre Stabilise par Ciment ;*

T S F *Terre Stabilise par Fibres ;*

T S R *Terre Stabilise par Résine ;*

T S C+R *Terre Stabilise par Ciment+Résine.*

b - Sur éprouvettes parallipédique :

	<i>Témoin</i>		<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>T t A</i>	<i>TAC1</i>	<i>TAC2</i>	<i>TAC3</i>	<i>TAC4</i>	<i>TAF1</i>	<i>TAF2</i>	<i>TAR</i>	<i>TACR</i>
<i>R1(bars)</i>	/	34.26	39.08	44.65	48.97	49,60	31,40	27.23	42.54	50.15
<i>R2(bars)</i>	/	32.38	40.88	36.43	49.21	56.16	26,88	25.47	42.70	46.17
<i>R moy (bars)</i>	/	33.32	39,98	40,54	49,09	52,88	29.14	26.35	42.62	48.16

Tab. 6 – 9 : résultats de test de compression sur éprouvettes parallélépipédique –terre A- de M'sila.

VI-8-1-2-Essai d'érosion:

	<i>Témoin</i>		<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>T t A</i>	<i>TAC1</i>	<i>TAC2</i>	<i>TAC3</i>	<i>TAC4</i>	<i>TAF1</i>	<i>TAF2</i>	<i>TAR</i>	<i>TACR</i>
<i>Profondeur d'érosion (cm)</i>	6	4	1.4	1.1	0.8	0.4	2.8	2.6	0.6	0.4

Tab. 6 – 10 : résistance a la pression d'eau – essai d'érosion-.

VI-8-1-3-Delais de prise:

	<i>Témoin</i>		<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>T t A</i>	<i>TAC1</i>	<i>TAC2</i>	<i>TAC3</i>	<i>TAC4</i>	<i>TAF1</i>	<i>TAF2</i>	<i>TAR</i>	<i>TACR</i>
<i>Début de prise</i>	/	/	8 h	6 h30 min	4 h30 min	3 h	/	/	2 h30 min	2 h30 min
<i>Fin de prise</i>	/	/	12 h	10 h	7h	5 h	/	/	5 h	5 h

Tab. 6 – 11 : début et fin de prise –terre A- de M'sila.

VI-8-1-4-Degré d'absorption d'eau:

	Témoin		T S C				T S F		T S R	T S C+R
	T a	T t A	TAC1	TAC2	TAC3	TAC4	TAF1	TAF2	TAR	TACR
Degré d'abs d'eau	100 %	80 %	18.06%	17.11 %	17.06%	6.86 %	100 %	100%	22%	12 %

Tab. 6 – 12 : degré d'absorption d'eau –terre A- de M'sila.

VI-8-1-5-Masse volumique et Densité sèche:

	Témoin		T S C				T S F		T S R	T S C+R
	T a	T t A	TAC1	TAC2	TAC3	TAC4	TAF1	TAF2	TAR	TACR
Mv apparente kg/l	1.074	1.287	1.085	1.098	1.105	1.120	/	/	/	/
Densité sèche g/cm ³	1.550	1.851	1.453	1.364	1.328	1.225	1.496	1.250	1.535	1.460

Tab. 6 – 13 : degré d'absorption d'eau –terre B- de Medjana.

VI-8-2- Résultats des essais effectués sur le deuxième type de terre –Terre B- :

VI-8-2-1-Resistance a la compression :

a - Sur éprouvettes cubique :

	Témoin	T S C				T S F		T S R	T S C+R
	T a	TBC1	TBC2	TBC3	TBC4	TBF1	TBF2	TBR	TBCR
R1(bars)	10.60	21.43	39.67	36,88	48.01	9,43	8,20	44.67	44.09
R2(bars)	11.76	20.55	41.09	43.99	49.77	13.81	8.61	38.97	44.00
R3(bars)	12.89	15.98	39.18	40.30	56.51	8.08	8.00	30.42	52.43
R moy (bars)	11.75	19.32	39.98	40.39	51.43	10.44	8.27	38.02	46.31

Tab. 6 –14 : résultats de test de compression sur éprouvettes cubique –terre B- de Medjana.

b - Sur éprouvettes parallélépipédique :

	<i>Témoin</i>	<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>TBC1</i>	<i>TBC2</i>	<i>TBC3</i>	<i>TBC4</i>	<i>TBF1</i>	<i>TBF2</i>	<i>TBR</i>	<i>TBCR</i>
<i>R1(bars)</i>	10.87	18,90	33,98	31,44	45.03	9.00	7.69	33.12	40.54
<i>R2(bars)</i>	9.09	16.88	28.70	32.90	50.59	7.88	7.33	31.14	42.06
<i>R moy (bars)</i>	9.97	17.89	31.34	32.17	47.81	8.44	7.51	32.13	41.30

Tab. 6 – 15 : résultats de test de compression sur éprouvettes parallélépipédique –terre B- de Medjana.

VI-8-2-2-Essai d'érosion:

	<i>Témoin</i>	<i>T S C</i>					<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>TBC1</i>	<i>TBC2</i>	<i>TBC3</i>	<i>TBC4</i>	<i>TBF1</i>	<i>TBF2</i>	<i>TBR</i>	<i>TBCR</i>	<i>T a</i>
<i>Profondeur d'érosion (cm)</i>	6	4	1.4	1.1	0.8	0.4	2.8	2.6	0.6	0.4

Tab. 6 – 16 : résistance a la pression d'eau – essai d'érosion-, –terre B- de Medjana.

VI-8-2-3-Delais de prise:

	<i>Témoin</i>	<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>TBC1</i>	<i>TBC2</i>	<i>TBC3</i>	<i>TBC4</i>	<i>TBF1</i>	<i>TBF2</i>	<i>TBR</i>	<i>TBCR</i>
<i>Début de prise</i>	/	6 h	4 h	2 h30 min	2 h	/	/	2 h30 min	2 h
<i>Fin de prise</i>	/	9 h	6 h	4h	3 h30 min	/	/	4 h	3 h30 min

Tab. 6 – 17 : début et fin de prise –terre B- de Medjana.

VI-8-2-4-Degré d'absorption d'eau:

	<i>Témoïn</i>	<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>TBC1</i>	<i>TBC2</i>	<i>TBC3</i>	<i>TBC4</i>	<i>TBF1</i>	<i>TBF2</i>	<i>TBR</i>	<i>TBCR</i>
<i>Degré d'absorption d'eau</i>	100 %	40.33 %	31.30 %	25,04%	22.46%	100 %	100 %	24 %	18.87 %

Tab. 6 – 18 : degré d'absorption d'eau –terre B- de Medjana.

VI-8-2-5-Masse volumique apparente et Densité sèche:

	<i>Témoïn</i>	<i>T S C</i>				<i>T S F</i>		<i>T S R</i>	<i>T S C+R</i>
	<i>T a</i>	<i>TBC1</i>	<i>TBC2</i>	<i>TBC3</i>	<i>TBC4</i>	<i>TBF1</i>	<i>TBF2</i>	<i>TBR</i>	<i>TBCR</i>
<i>Mv apparente kg/l</i>	1.103	1.118	1.201	1.236	1.259	/	/	/	/
<i>Densité sèche g/cm³</i>	1.86	1.68	1.52	1.48	1.39	1.76	1.72	1.83	1.65

Tab. 6 – 19 : masse volumique apparente et densité sèche –terre B- de Medjana.

VI-9-Analyse des Résultats:

VI.9.1 les propriétés physiques:

VI.9.1.1- La densité sèche :

- Effet des ajouts stabilisant :

Les figures (6-09) et (6-10) montrent que la densité sèche du bloc comprimé diminue avec l'augmentation du pourcentage des ajouts, ceci est dû à la structure des terres qui ont un réseau plus compact par rapport au ajout (ciment, fibres).

On remarque aussi sur les mêmes figures que la densité sèche diminue avec l'augmentation du pourcentage de ciment à additionner. On peut expliquer cette différence par le fait que la terre possède une structure plus dense, ce qui rend la masse spécifique plus faible lorsque en diminue la quantité de produit terre.

On remarque, d'après les résultats obtenus et enregistrés dans les tableaux (6-13) et (6-19), que l'ajout Résine n'a aucune influence sur la masse spécifique car il entre plus dans la composition physique des grains ce qui explique ce phénomène, d'autre part les fibres font diminuer légèrement la masse spécifique vue leur poids et leur teneur.

VI.9.1.2- la masse volumique apparente :

-Effet de ciment:

On remarque d'après les mêmes figures (6-09) et (6-10) que la masse volumique apparente diminue avec la diminution du pourcentage du ciment car ce dernier occupe les espaces vides entre les particules de terre vue sa finesse par rapport à la granulométrie des terres -voir tableau de granularité -Tab 6-5-.

VI.9.2 les propriétés rhéologiques :

VI.9.2.1 la consistance normale :

La consistance normale est la quantité d'eau de gâchage qui assure l'obtention d'une pâte normale. Elle dépend de la finesse de mouture de la température d'eau de gâchage et de la présence d'addition.

-Effet des ajouts :

La présence de ciment peut apporter un changement dans les différentes propriétés des terres notamment sa consistance normale.

Pendant la prise et le durcissement, l'eau disponible est fixée sous la double action des forces physiques d'adsorption, de capillarité et des forces chimiques d'hydrolyse et d'hydratation.

Les minéraux du clinker s'hydratent différemment et fixent des quantités d'eau variable.

D'après les résultats obtenus et représentés dans la figure (6-10), on peut dire que la consistance normale augmente avec l'augmentation de la teneur d'ajout. C'est ces minéraux qui s'hydratent et réagissent avec l'eau de gâchage pour former des films avant de faire prise rapidement par rapport aux produits de terre pure.

Comparant entre les résultats représentés dans la figure (6-10), qui montrent l'influence de chaque type d'ajouts, on remarque que la consistance normale pour le ciment est supérieure que celle de la résine ou des fibres. Cette différence est due, principalement, à :

- L'activité du ciment (la potentialité hydraulique du ciment).
- Les fibres sont des stabilisants inertes.

Finalement, il est indispensable de montrer le rôle de chaque minéral entrant dans la composition du clinker dans les réactions d'hydratation. -voir les temps de prise-.

VI.9.2.2 Les temps de prise :

La prise du mortier est caractérisée par un début et une fin, noter respectivement « début de prise » et « fin de prise ».

Comme il a été mentionné au paragraphe précédent et dans le cas d'ajout ciment, les minéraux du clinker s'hydratent différemment l'un de l'autre. Cette propriété fait que chaque minérale joue un rôle bien déterminé. Ainsi, le C4 AF et le C3A dont la réactivité d'hydratation est très élevée contribuent d'une manière appréciable à la prise des pâtes de terre stabilisée par le ciment, de même pour la terre stabilisée par la résine qui contient 35% de liquide durcisseur qui va influencer d'une manière directe sur la prise du produit terre.

Ces données nous permettent d'avancer certaines constatations sur la prise de mélange (terre-stabilisant).

L'étude de l'influence du pourcentage d'ajouts sur le temps de prise doit être essentiellement basée sur la variation de la teneur en stabilisant. c.a.d l'augmentation du % d'ajout (ciment) fait accélérer les procédés de prise (début et fin de prise).

Reste à noter que les fibres n'influencent pas sur cette propriété.

VI.9.3 Les propriétés Mécanique :

VI.9.3.1 Essais de résistance à la compression simple:

L'argile joue le rôle de ciment. Elle maintient l'ensemble des grains inertes et assure en grande partie la cohésion de la terre. Ce sont donc les forces de cohésion des micelles d'argile qui demandent à être étudiées particulièrement. Bien que l'on ne puisse pas parler d'une seule sorte de force, on peut dire que ce sont pour l'essentiel des forces électrostatiques. De nombreuses forces attractives et répulsives sont en jeu mais ce sont les forces électrostatiques qui demeurent prépondérantes.

a -Rôles du ciment:

Dans la terre, le ciment hydraté réagit de deux façons:

- Réaction avec lui-même: formation d'un mortier de ciment pur hydraté; réaction avec le squelette sableux: mécanisme classique du mortier.

- Réaction avec l'argile selon trois phases :

1 - L'hydratation provoque la formation de gels de ciment à la surface des agglomérats d'argile. La chaux libérée pendant l'hydratation du ciment réagit aussitôt avec l'argile. La chaux est vite consommée et l'argile entame une dégradation.

2 - Progression de l'hydratation qui active la désagrégation des agglomérats d'argile; ceux-ci sont pénétrés en profondeur par les gels de ciment.

3 - Interpénétration intime des gels de ciment et des agglomérats argileux. L'hydratation persiste, mais plus lente.

On obtient en fait trois structures mêlées :

- une matrice inerte sableuse liée au ciment;

-une matrice d'argile stabilisée;

- une matrice de terre non stabilisée, la stabilisation n'affecte pas tous les agrégats.

Une matrice stabilisée enveloppe des agglomérats composites de sable et d'argile.

Sur les éprouvettes cubiques (EC) et parallélépipédiques (EP) - blocs bruts et stabilisés à tout pourcentage en ciment- ont fait l'objet d'essais de résistance en compression simple. Ces essais sont pilotes en déplacement à une vitesse constante de 0,02 mm/s jusqu'à la rupture.

Nous avons regroupé dans les Tableaux (6-08) et (6-13) les résultats des essais de résistance en compression simple respectives des échantillons bruts et traités sur éprouvettes cubique, et dans les tableaux (6-09) et (6-14) les résultats sur éprouvettes parallélépipédique.

Les résistances en compression simple moyennes obtenues pour les échantillons traités permettent d'établir les remarques suivantes :

La résistance mécanique des blocs traités aux fibres est la plus faible, $R_{moy}=33.21 \text{ bars}$ (Terre A) et $R_{moy}=8.27 \text{ bars}$ (Terre B).

La terre A (terre de M'sila) présente un meilleur comportement mécanique par rapport à l'autre (terre de Medjana) terre B. $R_{moy}=64.92 \text{ bars}$ (Terre A) et $R_{moy}=51.43 \text{ bars}$ (Terre B).

Les blocs stabilisés par le ciment ont le meilleur comportement mécanique à la compression par rapport à celle traitée par la résine hypoxyde et celle stabilisée par fibres ;

La brique stabilisée par le plus grand pourcentage de ciment est plus grande des autres tout en restant supérieure.

La résistance des éprouvettes cubique est supérieure des éprouvettes parallélépipédique de 20% tout en étant supérieure.

b- Rôles des fibres:

La résistance a la compression des blocs de terre armés dépend de la quantité de fibres ajoutées, car une quantité trop importante allège trop la masse volumique: le nombre de points de contact entre les fibres et la terre, qui transmettent les déformations est alors très réduit, diminuant la résistance a la compression du bloc (*fig. 6-11 et fig. 6-12*).

Les matériaux de terre renforcés de fibres possèdent un degré élevé de résistance à la fissuration et à la propagation des fissures. Le degré de résistance au cisaillement dépend beaucoup de la résistance à la traction des fibres. En outre, une bonne résistance à la compression peut être obtenue grâce à une armature de fibres, qui dépend à la fois de la quantité de fibres employée et de la résistance à la compression initiale de la terre, de la résistance à la traction initiale des fibres et de la friction interne entre les fibres et la terre.

Les fibres provoquent la fissuration au séchage en répartissant les tensions dues au retrait de l'argile dans toute la masse du matériau. Ils accélèrent le séchage grâce à un drainage de l'humidité vers l'extérieur par les canaux des fibres. Inversement, la présence de fibres augmente l'absorption en présence d'eau.

c- Rôles de Résine :

Les résines sont constituées de molécules à longue chaîne résultant de la liaison (polymérisation) de certains agents chimiques (monomères et polymères). On peut les employer de deux façons différentes:

- Les monomères sont ajoutés à la terre en même temps qu'un catalyseur: les réactions entre la terre et les monomères ainsi que la polymérisation sont immédiates.

-Les résines agissent différemment, soit comme flocculant, comme dispersant, comme acide ou liant Néanmoins la plupart des produits jouent le rôle d'imperméabilisant et ceux plus sophistiqués peuvent améliorer la cohésion de la terre.

La résine incite pas mal d'action dans la terre, une prise rapide (*fig. 6-11 et fig. 6-17*), une facilité d'incorporation dans la terre du fait d'une viscosité comparable à celle de l'eau, possibilité de solidifier des sols très humides.

VI.9.4 Essais d'érosion :

Le dosage en ciment réduit les pertes de matière à 10 %-pour les deux type de terre-, pour les autres ajouts les résultats sont différents l'une de l'autre, le meilleur résultat est du mélange (terre, ciment, résine), qui a permis de résistée mieux par rapport aux autres (*fig. 6-10 et fig.6-16*), en général les ajouts stabilisant permettent une limitation de la profondeur moyenne des trous à 5 mm des profondeur d'érosion.

VI.9.5 Essais d'absorption :

La terre A- M'sila – stabilisée en ciment, résine a le moindre degré d'absorption elle est plus stable –une grande force cohésion -. Pour les autres ajouts les résultats sont différents l'une de l'autre, le meilleur résultat est du mélange (terre, ciment, résine), donc les ajouts stabilisant permettre une limitation de pourcentage d'eau absorbée, c'est une bonne performance- voir résultats des essais d'absorption *Tab 6-12 et 6-18-*.

Variation de la résistance mécanique en fonction du pourcentage de ciment ajoutée

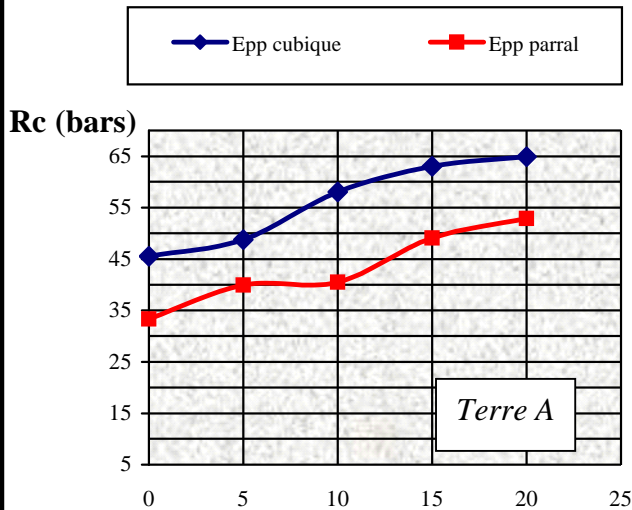


fig 6-03 :variation de Rc en fonction du % de ciment (% ciment)

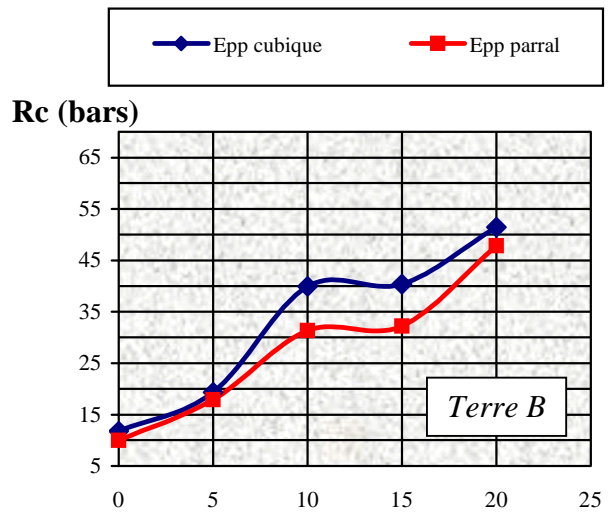


fig 6-04 :variation de Rc en fonction du % de ciment (% ciment)

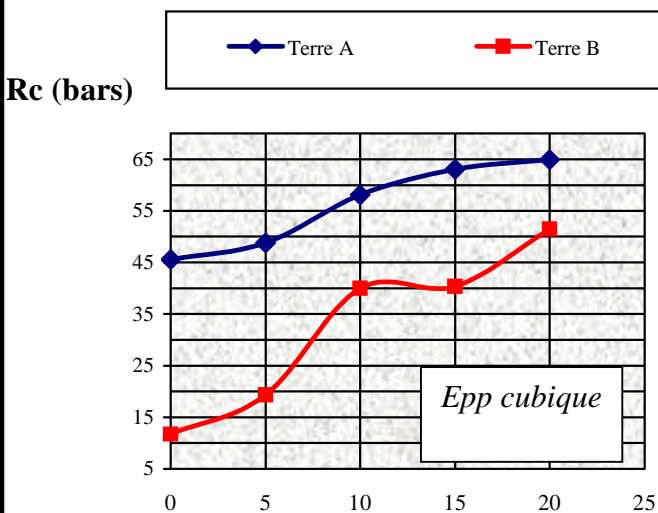


fig 6-05 :variation de Rc en fonction du % de ciment (% ciment)

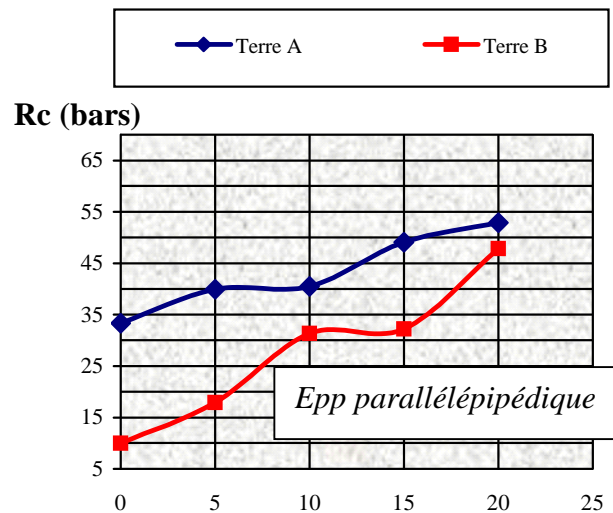


fig 6-06 :variation de Rc en fonction du % de ciment (% ciment)

Variation des délais de prise et la masse volumique en fonction du pourcentage de ciment ajoutée

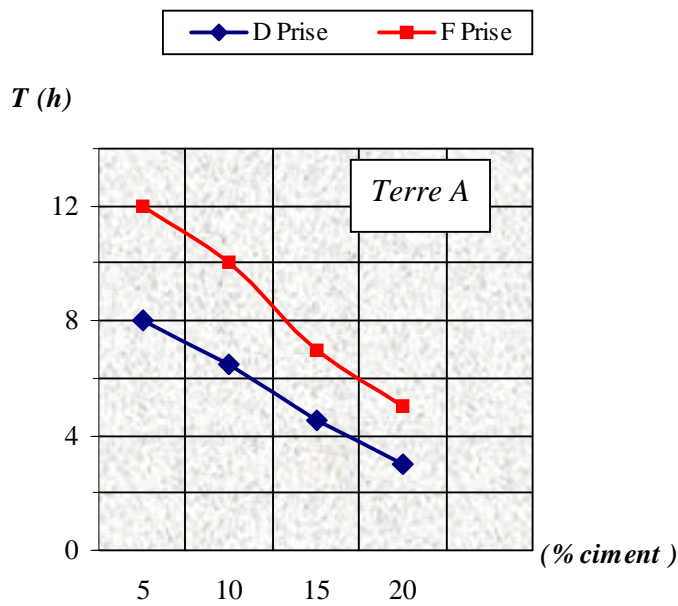


fig 6-07: variation des délais de prise en fonction du % ciment

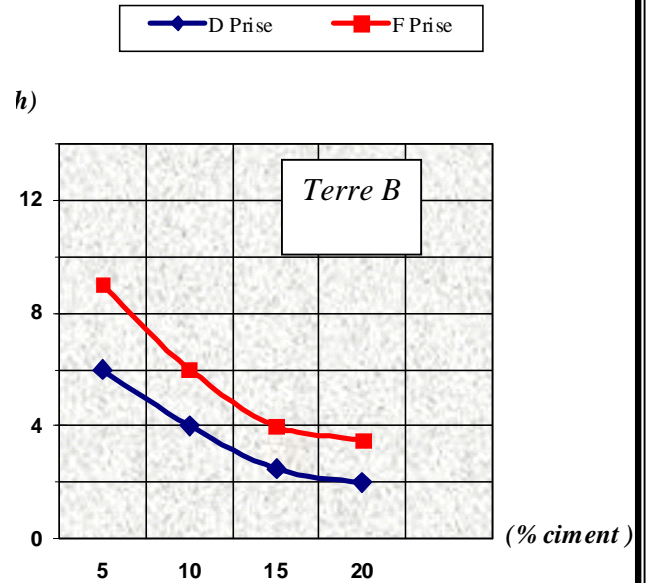


fig 6-08: variation des délais de prise en fonction du % ciment

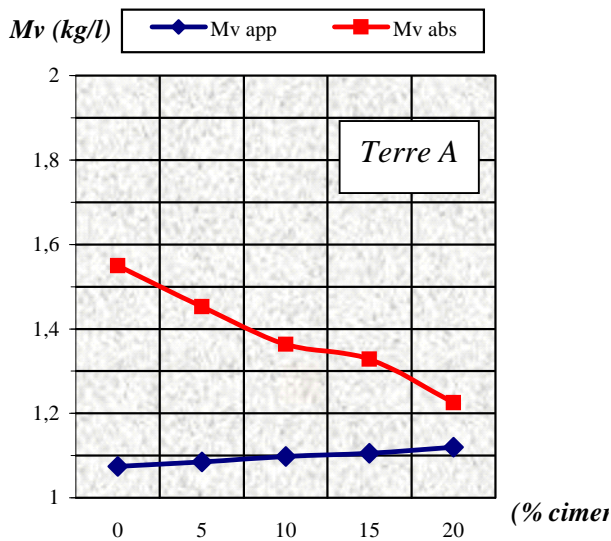


fig 6-09: variation des masses volumique en fonction du % ciment

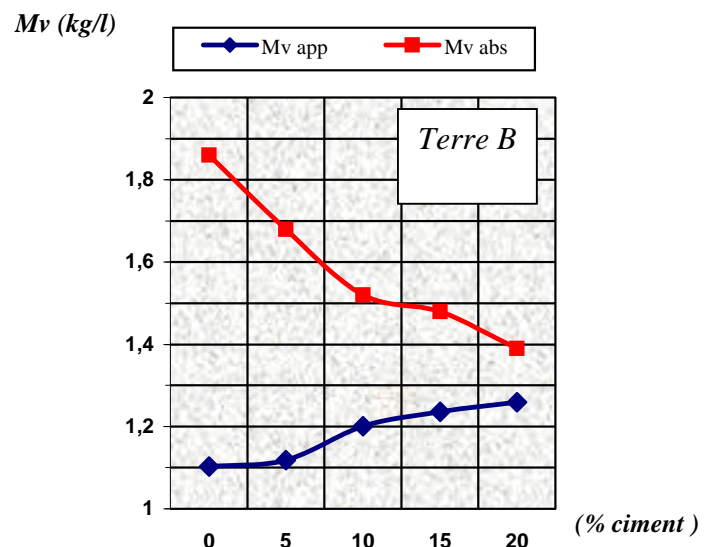


fig 6-10: variation des masses volumique en fonction du % ciment

Variation de la résistance mécanique et les délais de prise en fonction du type de stabilisant

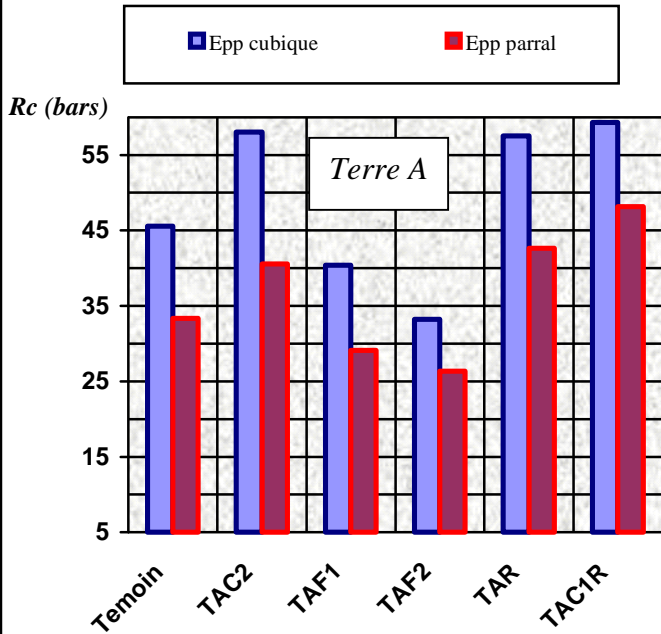


fig 6-11 : variation de Rc en fonction de type de stabilisant

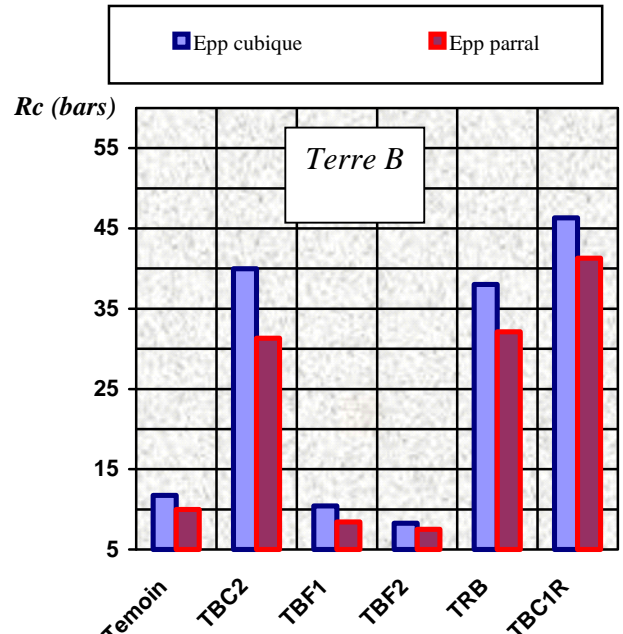


fig 6-12 : variation de Rc en fonction de type de stabilisant

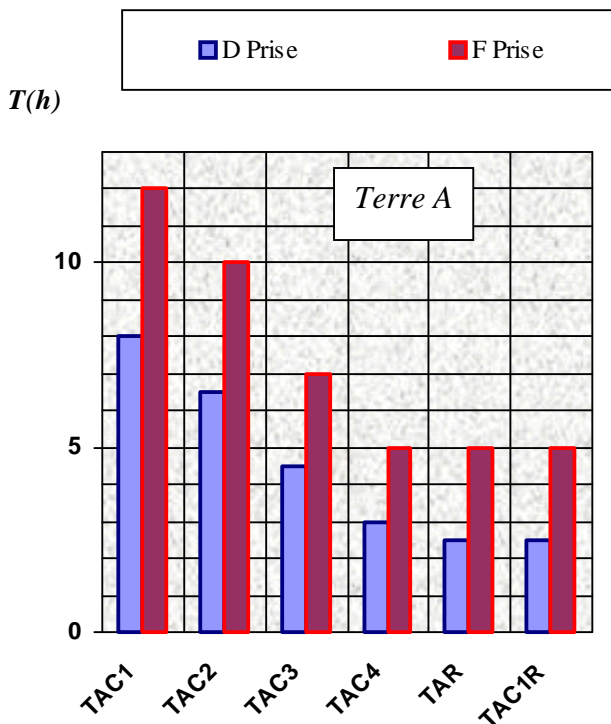


fig 6-13 : variation des délais de prise en fonction de type de stabilisant

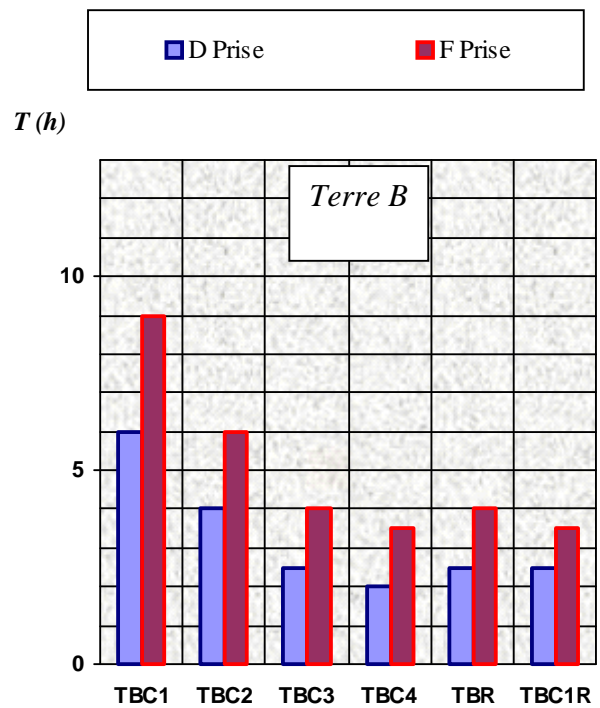


fig 6-14 : variation des délais de prise en fonction de type de stabilisant

Variation de degré d'absorption d'eau et la profondeur d'érosion d'eau sur la brique en fonction du type de stabilisant

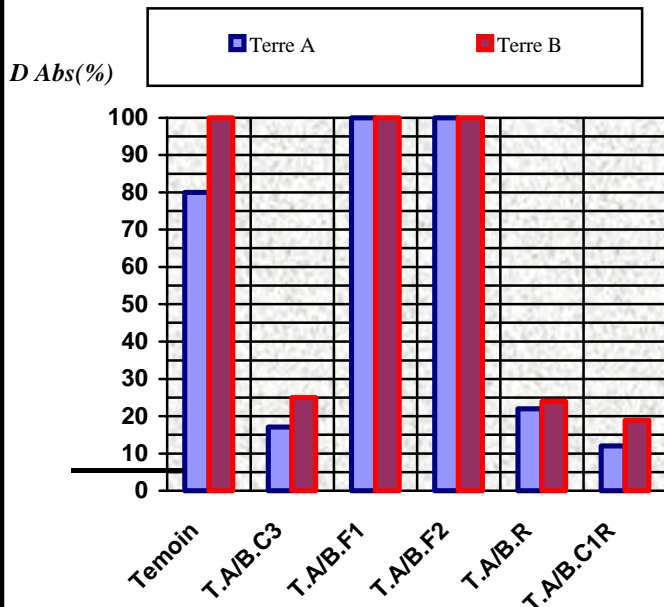


fig 6-15 :variation de degre d'absorption en fonction de type et % de stabilisant.

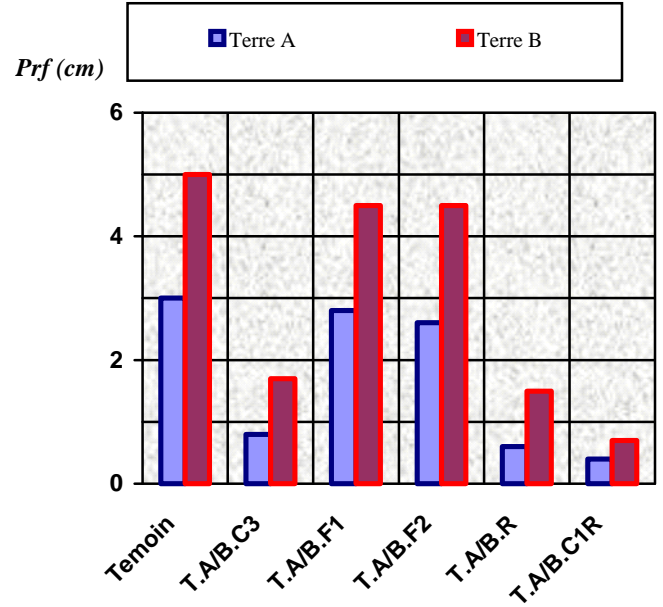


fig 6-16 : Profondeur des trous d'érosion en fonction de type et % de stabilisant.

Conclusion Générale:

L'identification et la caractérisation du matériau terre, comment le rendre durable, la reconnaissance des ces avantages et inconvénients pour les constructions en terre crue étaient l'objectif de ce travail.

Avant de procéder à la stabilisation il faut faire des essais de convenance de terre par les différents moyens de laboratoire qui nous ont permis de faire les tests d'identification, une bonne maîtrise des techniques d'identification orientera les choix en matière de stabilisation et par conséquent un produit durable.

En particulier :

Notre travail expérimental permet une appréciation sur le comportement de ce type de matériaux de construction, sur la base de nos résultats des essais physico-mécanique effectués sur les blocs de terre obtenus après stabilisation on peut constater que la durabilité de ce matériau est améliorée, les résultats enregistrés dans les tableaux 6-8 jusqu'au 6-18 montrent clairement l'amélioration des différentes caractéristiques :

Chaque minéral de clinker joue un rôle bien déterminé concernant le début et fin de prise, de même pour la terre stabilisée par la résine qui contient le liquide durcisseur et qui influence d'une manière directe sur la prise du produit terre.

Donc l'augmentation du pourcentage d'ajout (ciment) et la présence de la résine accélèrent les procédés de prise (début et fin de prise) et les fibres n'influencent pas sur cette propriété.

L'ajout résine n'a aucune influence sur la masse spécifique, d'autre part les fibres font diminuer légèrement la masse spécifique vue sous poids et sa teneur. La consistance normale augmente avec l'augmentation de la teneur d'ajout, pour le ciment elle est supérieure que celle du résine ou fibres cette différence est due, principalement, à :

-L'activité du ciment (la potentialité hydraulique du ciment).

-Les fibres sont des stabilisants inertes.

Concernant Les propriétés Mécaniques :

a- Résistance en compression simple :

Le stabilisant ciment hydraté réagit de deux façons comme il a été mentionné auparavant. Les résultats obtenus pour les échantillons traités permettent de conclure :

- La résistance des blocs non traités est la plus faible ;
- La terre A (terre de M'sila) présente un meilleur comportement mécanique par rapport au deuxième matériau terre –B- (terre de Medjana).
- Les blocs stabilisés par le ciment ont le meilleur comportement mécanique à la compression par rapport à celle traitée par la résine hypoxyde et finalement celle stabilisée par les fibres ;
- La résistance à la compression de la brique de terre stabilisée par le plus grand pourcentage

de ciment est plus grande de celle stabilise par un pourcentage inférieure.

- La résistance a la compression de la brique de terre de forme cubique est différente de la résistance de l'éprouvette parallélépipédique de 20% tout en étant supérieure.

* Effet des fibres :

La résistance des blocs armés dépend de la qualité et de la quantité des fibres ajoutées. Les matériaux de terre renforcés de fibres possèdent un degré élevé de résistance à la fissuration et à la propagation des fissures. Ils accélèrent le séchage grâce à un drainage de l'humidité vers l'extérieur par les canaux des fibres. Inversement, la présence de fibres augmente l'absorption en présence d'eau.

* Effets de Résine :

Les résines agissent différemment, ils facilite l'incorporation dans la terre-, jouent le rôle d'imperméabilisant, ils peuvent améliorer la cohésion de la terre et par conséquent agir sur la résistance mécanique se qui est très clair dans nos résultats expérimental voir tab 6-8.

b- La Résistance a L'érosion :

Le dosage en ciment réduit les pertes de matière à 10 %-pour les deux type de terre- tout en ajoutant le stabilisant, pour les autres ajouts les résultats sont différentes l'une de l'autre, le meilleur résultat est du dernier mélange (terre, ciment, résine) voir tab 6-10, donc les ajouts stabilisant permettre une limitation de la profondeur moyenne des trous à 5 mm des profondeur d'érosion.

c- L'absorption d'eau :

La terre A- M'sila – stabilise en ciment, résine a le moins degré d'absorption elle est plus au moins stable –force cohésion majeure, ce qui est une excellente performance. Pour les autres ajouts les résultats sont différentes l'une de l'autre, le meilleur résultat est du dernier mélange (terre, ciment, résine) voir tab 6-11, donc les ajouts stabilisant permettre une limitation de % d'eau absorbée, c'est une bonne performance.

De manière générale :

Pour produire les matériaux de construction généralement ,les producteurs sont obligé de gaspiller une grande quantité d'énergie, soit par leur traitement thermique lors de la production ou durant la durée de vie des bâtisses fondée sur ces matériaux –chauffage et climatisation-,prenant l'exemple de la production des ciments qui nécessite une très haute température de cuisson jusqu a 1450 C°, cette énergie chère disponible aujourd'hui , peut être un jour disparu,alors il faut pensée de l'économisée le maximum possible par la réorientation vers un autre mode de production ,un autre matériau de construction qui convient avec nos inquiétudes économiques et envirennementale ,aussi cette production a une grande influence sur l'environnement par la pollution de l'air, des eaux,des verdure et par leur déchets industrielles nuisible.

Bien au contraire la production de la brique de terre séchée n'a besoin qu'une petit quantité d'énergie, la climatisation des battisses basée sur ce matériau est assurée par leur meilleure tenue aux différentes conditions climatique.

La terre présente plusieurs avantages comme au niveau de la nature physiologique des êtres humains qui habitent dans des constructions en terre crue. De ce fait et de point de vue écologique la protection de nos ressources naturelles est une question de survie pour la population du globe, nous ne pouvons plus accepter que les chances de survie de générations futures soient détruites, pour cela une approche écologique environnementale est plus que nécessaire.

Alors l'intervention des chercheurs (ingénieurs, architectes, économistes) est plus que nécessaire pour enrichir le milieu, le structurer et non le détruire. Il existe plusieurs types de stabilisation efficace et facile à faire aussi du côté économique faisable, et pour chaque ajout il existe un seuil de stabilisation qui assure une meilleure cohésion et par la suite un très bon comportement physico-mécanique.

Les constructions en terre crue n'utilisent que peu d'énergie employée dans une construction basée sur d'autres matériaux qui subissent des traitements thermiques. Il est facile d'intervenir au cours de la durée de vie de ces bâtisses pour les réparer ou renforcer c'est à dire un entretien facile.

Donc il est facile de maîtriser en œuvre des murs en brique de terre, de faire des constructions en terre séchée en se basant sur les caractéristiques de cette dernière et utilisant le meilleur stabilisant avec un pourcentage minimal, qui donne une meilleure correction du point de vue technique et le moins cher point de vue économique, dans notre cas d'étude on a le choix entre T (A, B) C1R c.à.d Terre A ou B avec 5% de ciment et 2% de résine.

Perspectives :

À la vue de notre travail, il semble que l'identification et la caractérisation de la cohésion interne du matériau terre de point de vue d'une science fondamentale de ces matériaux n'en est qu'à ces premiers pas.

Nos analyses des résultats obtenues ont été à l'échelle macroscopique, la résistance et la durabilité de la brique de terre séchée est basée principalement sur la cohésion interne entre particules, cette caractérisation mérite donc des approfondissements par des études microscopiques.

La création d'un milieu modèle est indispensable afin : de pallier aux problèmes de caractérisations ; d'avoir un matériau reproductible, simple et ne peut laisser de doutes sur d'éventuels phénomènes non maîtrisables (problème de gonflement/retrait, fissuration,...etc.).

Établir une loi de comportement on réalise des essais triaxiaux et des essais de compression simple sur un échantillon de terre.

Identification de la cohésion macroscopique au niveau microscopique par des analyses d'images. Il serait intéressant de passer à des milieux plus complexes (argile gonflante, variation de la granulométrie ...etc.).

BIBLIOGRAPHIE

- (1) **Olivier, M.** *'Le matériau terre, compactage, comportement, application aux structures en blocs de terre'*, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 1994. pp31-37/105-109/151-154.
- (2) **Olivier, M. et Mesbah, A.**, *'Le matériau terre: Essai de compactage statique pour la fabrication des briques de terre compressées'*, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 146, Nov-Dec 1986. pp215-231.
- (3) **Olivier, M., El Gharbi, Z. et Mesbah, A.**, *'Proposition d'une norme pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimé'*, LGM (ENTPE) Septembre 1995. pp600-608.
- (4) **CRATerre**, *[Traite de construction en terre]* 2^{eme} édition juin 1995. Pp 14-31/40-103/137-141.
- (5) **RILEM TC-EBM** *[Mode opératoire pour la réalisation d'essais de résistance sur blocs de terre comprimé]* vol .30, novembre 1997, pp515-517.
- (6) **David Gelard** *[Identification et caractérisation de la cohésion interne du matériaux terre dans ses conditions naturelles de conservation]* Lille -dunkerque', - *thèse doctorat - L'école doctorale 'TERRE, UNIVERS, ENVIRONNEMENT'* le 14- 01-2005 pp31-37/105-109/151-154.
- (7) **Xavier Leroux**: *le 'payes 'entre géographie construction politique et représentation : l'exemple de l'espaconstruct'*. - *thèse doctorat - UNIVERSITE DE PARIS X Nanterre L'école Doctorale économie organisation société*. Pp301-317.
- (8) **A. Ravereau** *[M'Zab une leçon d'architecture]* 1^{ère} édition 1981. pp243-248.
- (9) **CNERIB/1994** *[Guide technique de béton de terre stabilise]*.Pp17-19.
- (10) **CONAN(Michel)** *[L'évaluation constructive]* édition de L'aube 1998. pp113-122.
- (11) **GALLO CETTINA** *[Bioclimatique Architecture]* édition ENEA 1983. pp18-39.
- (12) **B.GIVONI** (Architecture, docteur en médecine, directeur du département de climatologie) *[L'homme, l'architecture et le climat.]* édition du moniteur 1978. pp121-151/308-345/351-373.
- (13) **Madjoudj Nadia** - Mémoire PFE *[Habiter le Sahara timimoun]* (école polytechnique d'architecture et d'urbanisme) promotion 1999. pp01-03/26-49.
- (14) **Halladj djazia, Si Ameer Nawel** - Mémoire PFE *[Musée d'histoire naturel a Ben Aknoun]* (école polytechnique d'architecture et d'urbanisme) promotion 1999. pp05-10.
- (15) **Helal Nouri, Mohamed Berrouddji** –Mémoire PFE *[Boussaâda vers une nouvelle expérience d'habitat]* (école polytechnique d'architecture et d'urbanisme) promotion 2004. pp01-07/34-38.
- (16) **Youcef Nacib** *[culture oasisiennes]* Bou-Saada essais d'histoire sociale préface de Milton Santos –professeur à l'université de Sao Paulo édition 1986. pp292-310/220-242/361/445-452.
- (17) *fiche technique des produits GRANITEX- Algérie- 2007.*

ANNEXE

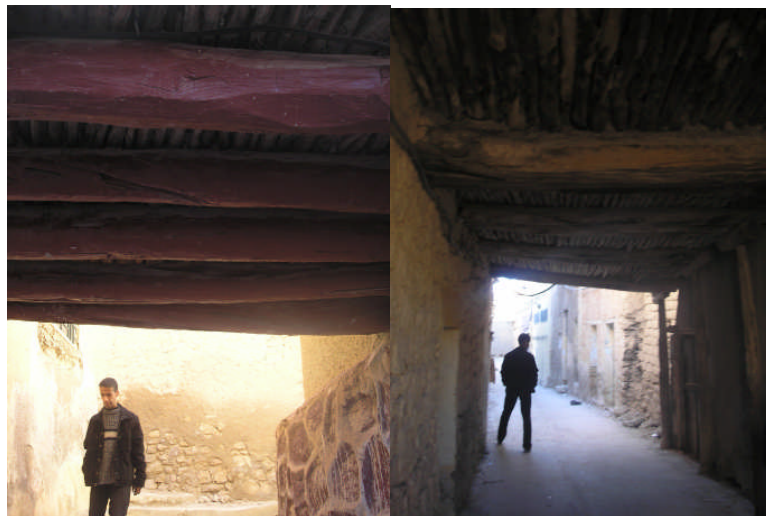
Photo 01 : El OUAHA -BOUSAADA- habitat

Photo 02 : HOTEL Kerdada-BOUSAADA-

Individuelle en brique de terre séchée



Photo 03 : HOTEL Kerdada-BOUSAADA-



Photos 04 : Rue des habitats individuelle en brique de terre séchée et matériaux traditionnels.



Photos 05 : Habitat individuel en brique de terre séchée et matériaux traditionnels à SIDI MBAREK-BBA-.

