



RÉPUBLIQUE POPULAIRE DÉMOCRATIQUE D'ALGÉRIE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ MOHAMED BOUDIAF M'SILA

FACULTÉ DE TECHNOLOGI

DOMAINE : GENIE CIVIL

DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL

FILIERE : GENIE CIVIL

N°

OPTION :MATERIAUX

Mémoire Présenté pour l'obtention Du diplôme de Master

Par: DELLALI SLIMANE

Thème:

*Formulation et fabrication d'un
mortier en terre crue résistant et durable .*

Soutenu devant le jury compose de :

*Pr. Bencheikh Mohamed

Université M'sila

Rapporteur

*

*

*

Année universitaire :2019/2020

Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté de mener à bien ce projet. Je tiens à exprimer mes sentiments et ma sincère gratitude à mon encadreur le professeur **BENCHEIKH MOHAMED**, pour sa disponibilité, sa patience et surtout pour ces précieux conseils durant toute cette année .

Je remercie aussi tous les professeurs qui, à travers mes 5 années de cursus, ont contribué de près ou de loin à ma formation .

Mes remerciements vont également vers l'ingénieur de laboratoire de Développement Géo matériaux de l'Université de M'sila Mr **CHOUKEIR SAWSEN**, pour son conseil, son soutien et son aide précieuse durant la durée de mes travaux, ainsi que vers le chef de département de génie civil Mr **BAALI LAÏD**.

Pour finir, merci à mes chers parents, familles et amis surtout **DJOUHINA** et madame **SARMOUK** qui ont contribué de leurs présences et soutiens à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

La terre crue , utilisée il y a des milliers d'années, est toujours le matériau de construction le plus utilisé dans le monde. Un tiers de la population vit dans des colonies de terre, plus d'un milliard de personnes dans la plupart des pays du monde. Ils vivent dans des maisons en terre, simples ou immenses, qui répondent à une gamme de besoins des résidents.

J'ai choisi ce thème qui vise à formuler un mortier de terre. Résoudre certains problèmes de bâtiment . La réalisation d'un mortier permet de coller les blocs de brique entre elles.

Ce mortier est fabriquer avec des matériaux locaux qui ne consomment pas beaucoup d'énergie et économique pour l'obtenir . adoptent la terre comme matière première du Wilayat de M'sila. Nous avons utilisons 4 types de terre . Avec des stabilisants(ciment . chaux) et sable. En appliquant Plan d'expérience , nous avons 5 facteur . Pour que nous obtenions le meilleur mortier durable et résistant.

Les mot clé : la terre ; mortier ; la résistance ; durable ; stabilisants ; brique.

Abstract

Raw earth, used thousands of years ago, is still the most widely used building material in the world. A third of the population lives in settlements, over a billion people in most countries of the world. They live in earthen houses, simple or huge, which meet a range of residents' needs.

I chose this theme which aims to formulate an earth mortar. Solve some building problems. The realization of a mortar makes it possible to glue the blocks of brick together.

This mortar is made with local materials which do not consume much energy and economical to obtain it. adopt the earth as raw material of the Wilayat of M'sila. We use 4 types of soil. With stabilizers and sand.

By applying Experiment Plan, we have 5 factors. So that we obtain the best durable and resistant mortar.

The key words: the earth; mortar; resistance ; sustainable; stabilizers; brick.

المخلص

لا تزال الارض الخام المستخدمة منذ آلاف السنين من مواد البناء الاكثر انتشار في جميع انحاء العالم اكثر من مليار شخص في معظم دول العالم يسكن المنازل الترابية يعيش ثلث البشر في سكنات ترابية بسيطة او ضخمة ، بحيث تلبى مجموعة من حاجيات السكان.

اخترت هذا الموضوع الذي يهدف إلى صنع ملاط أرضي. لحل بعض مشاكل البناء يمكننا الملاط من لصق كتل الطوب معاً

هذا الملاط مصنوع من مواد محلية لا تستهلك الكثير من الطاقة واقتصادية للحصول عليها. تكون التربة كمادة اولية من ولاية المسيلة. نستخدم 4 أنواع من التربة. مع مثبتات (اسمنت.الجير) ورمل من خلال تطبيق خطة التجربة ، لدينا 5 عوامل. حتى نحصل على أفضل ملاط متين ومقاوم

.الكلمات المفتاحية : التربة ؛ ملاط ؛ المقاومة ؛ مستدام ؛ مثبتات. قالب طوب

****Objective****

- L'objectif de ce travail est formuler et fabriquer d'un mortier de terre crue .
- Trouver un mortier de maçonnerie à base de terre (matériaux locaux) permettant de réaliser un mur en maçonnerie de type BTC. Ce mortier doit avoir une résistance mécanique et une durabilité suffisante , une liaison enter les BTC.



Fig1 :Formation mortiers :chaux . Terre .plâtre .

(https://www.google.com/search?q=historique+sur+mortier+de+terre&client=firefox-b-d&sxsrf=ALeKk01lITaFGJcJkqKwLafpKwWBAC8XGg:1597410374111&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjJ76Kv4ZrrAhWRURUIHbGPAJMQ_AUoAnoECA0QBA&biw=1130&bih=642#imgrc=-jSZnpg_mvpgbM)

****Problématique****

*Le désintéressement de la construction en terre crue en Algérie Malgré les avantages qu'il offre. Bâtiments en terre (environnementaux, économiques, culturels ...)



Fig2 :étude de cas :Mise en pratique de la construction en terre crue
(<https://www.google.com/search?q=historique+sur+mortier+de+terre&client=fir>)

efox-b-
d&sxsrf=ALeKk01ITaFGJcJkqKwLafpKwWBAC8XGg:1597410374111&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjJ76Kv4ZrrAhWRURUIHbGPAJMQ_AUoAnoECA0QBA&biw=1130&bih=642#imgrc=sIkqzGJ7V6WumM&i)

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Objective

Problématique

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction général01

CHAPITRE I : Etude Bibliographique et Présentation

I.1 Introduction.....04

I.2 La terre.....04

I.3 les avantage de la construction en terre crue :.....05

I.4 Mortier de terre06

I.4 .1 Le rôle de mortier07

I.4 .2 Propriétés et caractéristiques07

I.4 .3 Les principes de maçonnerie08

I.4 .4 Trois types de joints sont possibles08

I.4 .4 Trois types de joints sont possibles09

I.4 .6 Règles fondamentales d'appareillage pour éviter le risque	09
I.5 Les stabilisation.....	11
I.5.1 La chaux	11
I.5.2 ciment	12
I.5.2.1 Définition.....	12
I.5.2.2 Les constituants principaux.....	13
I.6 La durabilité	13
I.7 Etat actuelle de la recherche sur formulation et fabrication d'un mortier en terre crue	13

Chapitre II :Matériaux d'étude et technique Expérimental

II.1 Introduction	22
II.2 Matériaux utilise	22
II 2.1 origine de la terre	22
II.2.2 Caractérisation et méthodes expérimentales :.....	23
II.2.2.1 Analyse granulométrique tamisage (NF P 94-056).....	23
II.2.2.2 Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051).....	28
II.2.2.3 Composition minéralogique (DRX).....	30
II.2.3 Ciment.....	33
II.2.4 L'eau de gâchage.....	33
Conclusion.....	33

CHAPITRE III: METHODEDES PLANS D'EXPERIENCE

III.1 Introduction.....	36
-------------------------	----

III.2 Choix de la méthode d'expérimentation.....	36
III.3 Les différents types de facteurs.....	36
III.4 Notion d'espace expérimental :	37
III.5 Notion de modélisation mathématique	40
III.6 Logiciel utilisé	40
III.6.1 Présentation de logiciel « Minitab »	40
III.6.1.1 Diagramme de Pareto.....	41
III.6.1.2 Graphique des effets.....	41
III.6.1.3 Graphique des interactions.....	41
Conclusion :	41

Chapitre IV

Elaboration d'un prototype expérimentale de mortier en terre

IV.1 Introduction :.....	43
IV.2 Confection des blocs :.....	43
IV.2.1 Mélanges :.....	43
IV.2.2 Préparation des mélanges :.....	43
IV.2.2.1 Etapes de préparation :.....	44
IV.2.2.2 Préparation du mélange :.....	45
IV.3 La cure des éprouvettes :.....	50
Conclusion :.....	51

Chapitre V : « RESULTATS ET INTERPRETATIONS »

V.1 Introduction	53
A-diagramme de Pareto des effets pour la résistance.....	57
B-L'effet de chaque facteur pris individuellement sur la résistance.....	58

C . l'interaction des facteurs prise deux à deux sur la résistance	59
D- La modélisation par une équation mathématique.....	60
Conclusion	60
Conclusion Général.....	63

Listes des figures

Fig I 1 :Formation mortiers :chaux . Terre .plâtre

Fig I 2 :étude de cas :Mise en pratique de la construction en terre crue

Fig. Problèmes d'usure et d'émiettement des briques sur façades extérieures d'une bâtisse en terre stabilisée à Brazzaville (construite en 1997).....02

Fig1 :Fabrication de briques de banco au [Mali](#).....06

Fig2 :Reconstitution archéologique d'un mur. Briques de terre crue et mortier de terre fibré. [Apadana](#) de [Suse](#). Iran.....06

Fig I. 3. Disposer la juste quantité

Fig I 4 :Bien répartir le mortier

Fig I 5 : pré tremper les blocs stabilisés.....08.

Fig I 6 :Au nu du.....08

Fig I 7 :En gorge creuse.....08

Fig I 8 : En gorge creuse.....08

Fig I 9 :type d'appareillage

Fig I 10 :Les Règles d'appareillage.....09

Fig I 11: épaisseur de mortier en mur.....	10
Fig I 12 :Principe d'essai de la consistance du mortier de terre.....	14
Fig I 13 :Schéma de principe de l'essai de résistance en flexion sur éprouvette 4-4-16.....	14
Fig I 14 :. Principe de l'essai de compression sur mure	15
Fig I 15 :Dispositif d'essai sur échantillons cylindriques de mortier...	16
Fig I 16 :Compression simple sur éprouvette cylindrique et éléments de maçonnerie (BTC et mortier de terre Tassin)	16
Fig I 17 :Les détails de Emboîtement de 30 mm de profondeur blocs.....	17
Fig I 18 :Croquis typique de l'arrangement.....	17
Fig I 19 : Échec à l'interface liant-mortier	18
Fig I 20: Metal mould assembly, compaction process and CSRE wall specimen.....	18
Fig I 21 :Test de compression mise en place pour le mur CSRE	19
Fig I 22 : Modèle de défaillance typique pour les murs CSRE sous aucune compression excentrique.....	19
Fig II.1 :Terre gris	23
Fig II.2 :terre vert	23
Fig II .3 :terre rouge	23.
Fig II .4:terre blanche.....	23
Fig II. 5 : Appareillage de l'analyse granulométrique par tamisage.....	24
Fig II .6 : Courbe granulométrique d'argile Arggrs	25
Fig II .7: Courbe granulométrique d'argile Argrge	26
Fig II .8: Courbe granulométrique d'argile Argvrt	27
Fig II .9: Présentation des limites d'Atterberg.....	28
Fig II .10: Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande.....	29
Fig II 11 : Limite de plasticité au rouleau.....	29

Fig II .12 : appareillage Diffractomètre.....	31
Fig II .13 : Le types de ciment utilisé.....	33
Fig III 1: Le niveau bas, le niveau haut, et le domaine d'un facteur....	37
Fig III 2 : L'espace expérimental d'un facteur.....	38
Fig III 3 : Les points expérimentaux dans un espace expérimental....	39
Fig III 4: Les points expérimentaux dans un domaine d'étude.....	39
Fig IV.1 : mélange les matériaux avec eux.....	44
Fig IV.2:moulage les éprouvettes	44
Fig IV.3 : la cure des éprouvettes Avant démoulage 0-24 h	44
Fig IV.4: chambre de cure (du laboratoire de développement Géo matériaux Université de M'sila).....	50
Fig IV.5: Des éprouvettes confectionnées.....	50
FigV1 :Diagramme des effets pour la résistance.....	57
Fig V2:Graphique des effets des facteurs sur la résistance.....	58
FigV 3:Graphique des facteurs prise deux à deux sur la résistance.....	59

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Tableau récapitulatif des techniques de construction en terre crue	11
---	----

Tableau I.2 de: Etat actuelle de la recherche sur formulation et fabrication d'un mortier en terre crue	20
Tableau II .1: Analyse granulométrique pour le type d'argile <i>Arggrs</i> ...	25
Tableau II .2 : Analyse granulométrique pour le type d'argile <i>Argrge</i>	26
Tableau II .3 : Analyse granulométrique pour le type d'argile <i>Argvrt</i> ...	27
Tableau II .4: Les résultats obtenus par l'essai de la limite d'Atterberg pour les 03 types des terres.....	30
Tableau II.5.a : Composition minéralogique des échantillons (%).....	31
Tableau II.6.b : Composition minéralogique des échantillons (%).....	32
Tableau. IV .1: Composition des différents mélanges employés dans cette étude.....	45
Tableau V 1: de résultat terre gris.....	53
Tableau V 2 : de résultat terre blanc.....	54
Tableau V 3 : de résultat terre vert	55
Tableau V 4: de résultat terre rouge.....	56

Introduction

Général

Introduction général :

Depuis des temps immémoriaux, l'utilisation de la terre comme matériau plastique ou de construction a toujours été une réalité évidente du fait de son abondance et de sa maniabilité. Aujourd'hui, comme matériau de construction spécifiquement, la terre connaît un regain d'intérêt suite à la crise du logement qui se perpétue surtout dans les pays en développement (PED) et notamment au Congo-Brazzaville. Or, contrairement aux autres matériaux traditionnels ; ciment, béton, bois et acier, la terre à l'état naturel peut être utilisée dans la construction sans trop de dépense d'énergie. Aussi, elle présente de nombreux avantages environnementaux, sociaux, culturels, mais aussi économiques .

Elle possède aussi de bonnes performances d'isolation thermique une fois stabilisée dans les conditions idéales .

Cependant, l'inconvénient est que, à l'état cru, ce matériau ne résiste pas toujours aux intempéries. Ainsi, la durabilité des ouvrages construits est redoutée. Beaucoup de bâtisses en terre crue (adobe et torchis) et particulièrement celles construites avec des matériaux sans aucun traitement associé sont vouées à des sérieux problèmes de stabilité, d'usure progressive et voire d'émiettement en présence d'un taux d'humidité important, surtout dans les pays à forte pluviométrie.

Les mêmes phénomènes sont aussi observés dans certaines bâtisses de briques de terre stabilisée surtout lorsqu'il n'a pas été envisagé un traitement surfacique sur ces briques (Figure 3).

1. (Narcisse MALANDA¹, Received May 2017 – Accepted October 2017)



Fig. Problèmes d'usure et d'émiettement des briques sur façades extérieures d'une bâtisse en terre stabilisée à Brazzaville (construite en 1997)

Au cours des dernières années, des préoccupations croissantes sur les impacts environnementaux de la fabrication du ciment, en particulier les émissions de dioxyde de carbone associées, ont conduit des chercheurs d'explorer à nouveau les liants alternatifs pour le béton. [\(Abhilash Holur Narayanaswamy a, 2020\)](#)

CHAPITRE I : Etude Bibliographique



I.1 Introduction :

La construction moderne est basée sur des normes et priorités internationales, basées sur le pouvoir d'achat de l'être humain. Le respect de l'environnement ainsi que l'exploitation de toutes les ressources disponibles et du sol est considéré comme un matériau ancien et moderne dans la construction, mais les structures modernes nécessitent beaucoup d'efforts et de résistance, la possibilité de construire des logements avec de la terre est donc un défi pour les chercheurs.

I.2 La terre

Terre crue, ou matériau terre, sont les termes utilisés pour désigner la terre, utilisée avec peu de transformations, en tant que matériau. Le terme terre crue permet surtout de marquer la différence avec la terre cuite. Dans l'art, comme dans la construction contemporaine, le matériau terre se retrouve en effet le plus couramment sous sa forme cuite, céramique, poterie, briques de terre cuite, tuiles, carreaux, etc.

En construction, les termes consacrés sont multiples, mais ils désignent tous un matériau de base constitué par une pâte ou une boue contenant plus ou moins d'argile ou de limon ce que les anciens appelaient terre franche éventuellement dégraissée au sable et fibrée de foin, de paille ou d'autres fibres végétales, additionnée de différents matériaux qui vont modifier ses propriétés (chaux, urine de bestiaux, etc.).

Ce matériau est utilisé comme mortier ou est appliqué comme enduit (le mortier de terre), utilisé en remplissage d'une ossature (torchis, hourdage, bousillage, etc.) ; il est parfois empilé (bauge), coffré (pisé, béton de terre, etc.), découpé ou modelé sous forme de briques crues (adobe, banco, brique de terre compressée , etc.) ou simplement foulé au sol (terre battue).

Dans la littérature technique et scientifique, hormis le terme « matériau terre », la dénomination de béton de terre semble s'imposer .

La terre crue a sur la terre cuite l'avantage d'être moins dispendieuse en énergie, moins polluante. Ayant tendance à se diluer dans l'eau, elle doit toutefois être protégée des sources d'humidité. La terre crue est appréciée pour ses propriétés de régulation de température et d'humidité (https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_crue)

I.3 les avantages de la construction en terre crue :

On peut dénombrer trois avantages principaux de la construction en terre crue. Sur le plan socio-économique, l'un des premiers avantages de ce type de construction est le fait que le matériau de base soit largement disponible et le plus souvent immédiatement à la portée des utilisateurs. En effet, de par leur origine géologique .

la construction terre crue peut être une réponse pertinente à la problématique de logement. En effet, le coût de production et de transport des matériaux de construction modernes, en l'occurrence le béton, les rend inaccessibles aux populations des pays en voie de développement. Aussi, la réalisation d'ouvrages et de bâtiments dans les pays développés donne lieu à l'excavation et à la mise en décharge de millions de m³ de terre qui aurait pu être valorisée en matériau de construction.

L'aspect environnemental de la construction en terre crue est l'un de ses avantages les plus promus dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique. Le matériau terre crue a un impact environnemental qui repose essentiellement sur l'énergie nécessaire à son extraction, à son transport et à sa mise en œuvre pour ses formes les plus industrielles. L'impact environnemental lié au transport est d'autant limité de par le principe que le matériau est disponible à proximité du site de construction. Très peu transformé, il est également recyclable quasiment à l'infini.

Enfin, un certain nombre de propriétés intrinsèques du matériau terre crue longtemps mises à profit dans les constructions anciennes suscitent de nos jours un intérêt particulier pour les acteurs du bâtiment. Grâce à ses capacités hygroscopiques, le matériau terre crue est capable de réguler naturellement l'humidité de l'air et par suite la température à l'intérieur du bâtiment. [\(OUEDRAOGO, 21 Novembre 2019\)](#)



Fig1 :Fabrication de briques de banco au [Mali](https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_crue) (https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_crue)

I.4 Mortier de terre :

Le mortier de terre est un mortier fait avec de l'argile ou de la terre crue. De par la disponibilité de la matière première, ce type de mortier est ou a été probablement employé partout dans le monde depuis des temps immémoriaux éventuellement en remplacement de la chaux. Les Incas par exemple ne connaissaient pas d'autre mortier.

En Europe, les constructeurs préhistoriques se servaient également d'argile crue, dont ils enduisaient les sols et les parois de leurs maisons faites de clayonnages. Les murets découverts lors de fouilles sont toujours faits de pierres sèches et les pavages datant de l'époque de la Tène (environ 450 av. J.-C.) sont uniquement recouverts de terre battue

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_de_terre)



Fig2 :Reconstitution archéologique d'un mur. Briques de terre crue et mortier de terre fibré.
[Apadana](#) de [Suse](#). Iran.

I.4 .1 Le rôle de mortier :

*Il liaisonne les éléments de maçonnerie entre eux dans toutes les directions (joints verticaux et horizontaux).

*Il permet la transmission des efforts entre les éléments et notamment des efforts verticaux (poids propre des éléments empilés . Charges appliquées).

*Il permet la distribution de ces efforts sur toute la surface des éléments de maçonnerie

*Il permet de rattraper les défauts d'horizontalité

I.4 .2 Propriétés et caractéristiques :

A l'état frais . Un mortier doit être bien ouvrable outre une consistance convenable il doit présenter une bonne cohésion ainsi qu'un pouvoir de rétention de l'eau contre la succion par les éléments de Maçonnerie sur lesquels il est appliqué Outre sa consistance un mortier utilisé pour la construction en blocs de terre comprimée doit :

- 1 -Pouvoir accepter la déformation
- 2 -présenter une bonne perméabilité à l'humidité
- 3- présenter des performances mécaniques compatibles avec ce les des blocs de terre comprimée

I.4 .3 Les principes de maçonnerie :

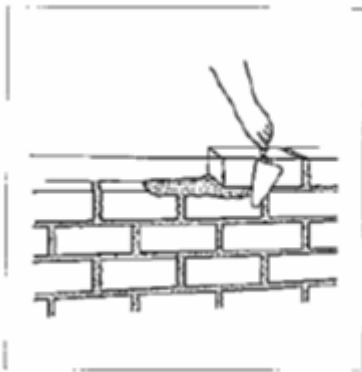


Fig3 : Disposer la juste quantité

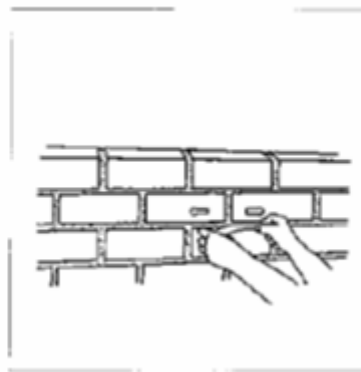


Fig 4 : Bien répartir le mortier

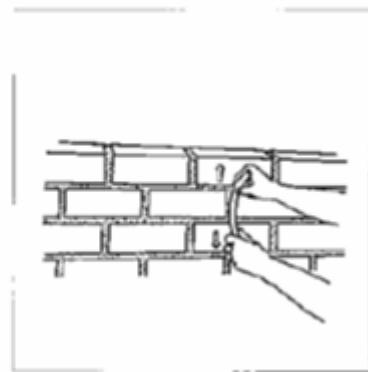


Fig5 : pré tremper les blocs stabilisés

I.4 .4 Trois types de joints sont possibles

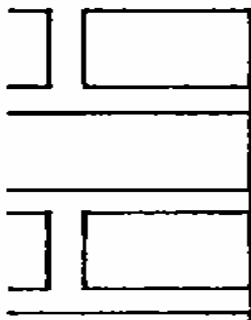


Fig6 :Au nu du

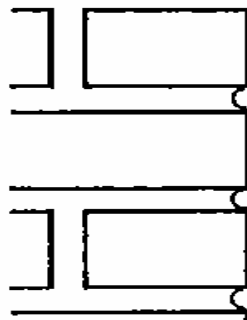


Fig7 :En gorge creuse

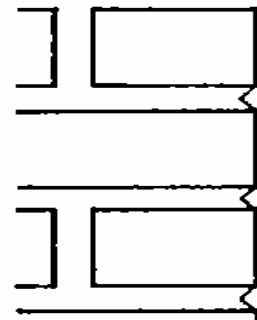


Fig8 : En gorge creuse

I.4 .5 Terminologie des type d'appareillage :

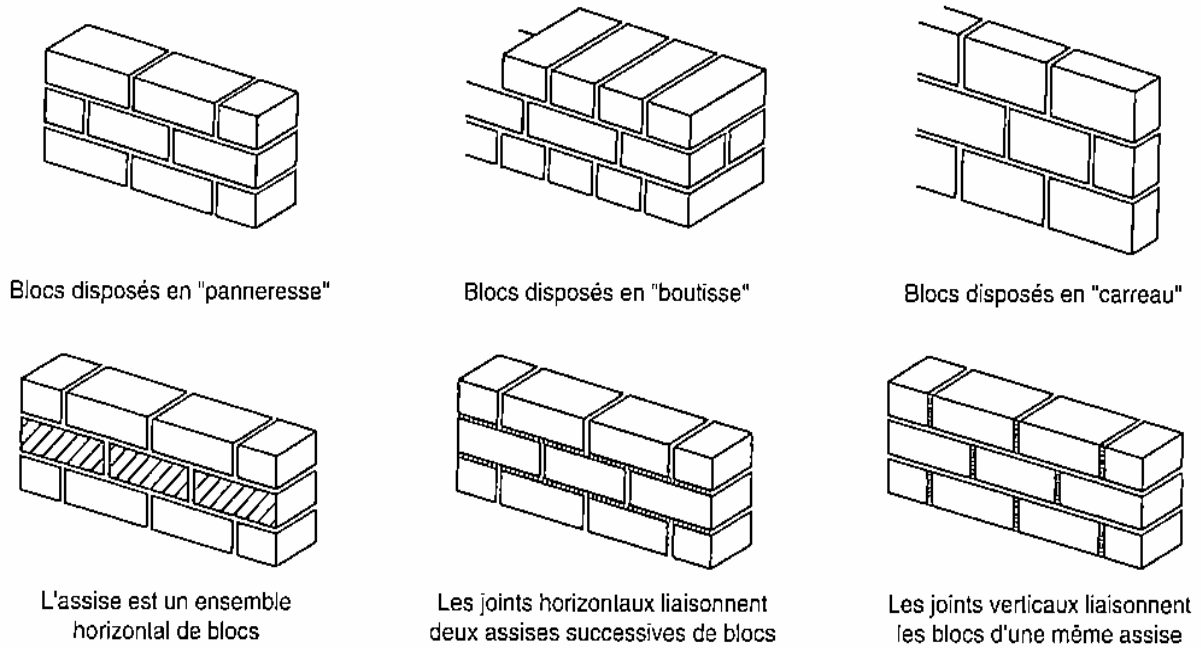


Fig 9 :type d'appareillage

I.4 .6 Règles fondamentales d'appareillage pour éviter le risque :

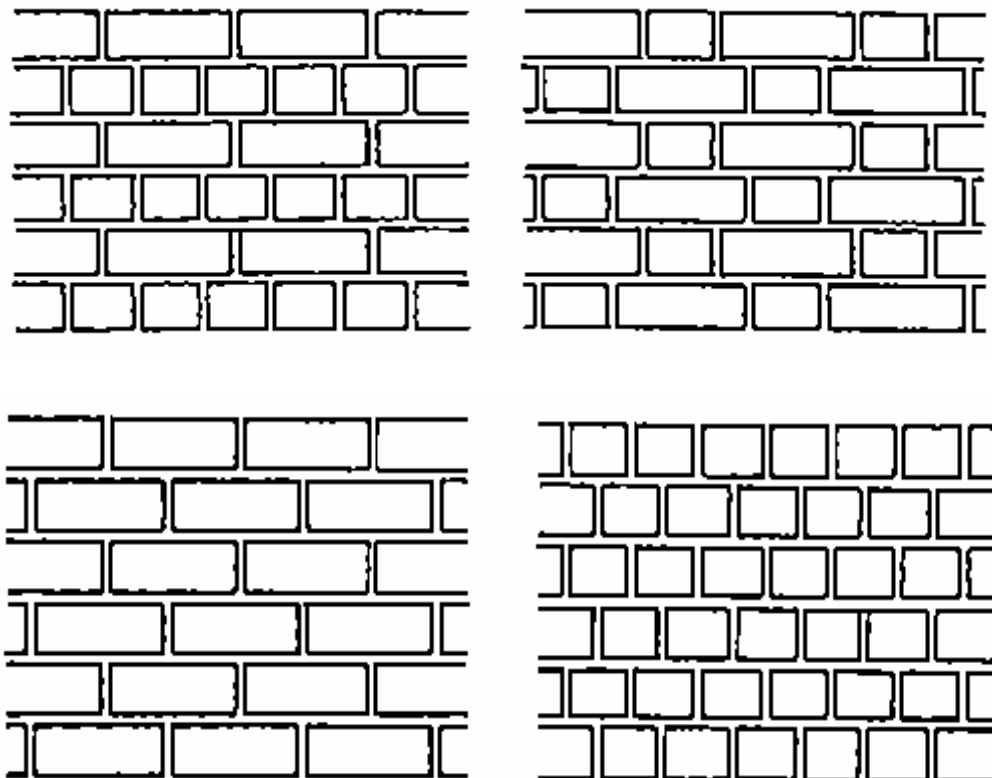


Fig10 :Les Règles d'appareillage

Un bon appareillage ne présente aucune continuités entre les joints verticaux de deux assises successives. Ainsi l'appareillage est la répétition alternée et décalée d'une assise à l'autre . D'un seul ou de deux types d'appareillage .

Généralement . L'écart minimum entre deux blocs deux assises successives est égal au quart de la plus grande dimension du bloc (sa longueur).

Épaisseur d'un joint de mortier (jt)

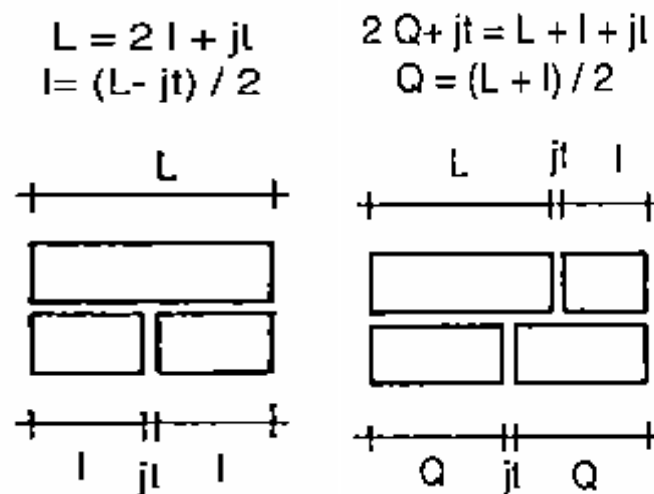


Fig 11: épaisseur de mortier en mur

(Hubert Guilaud, 1995)



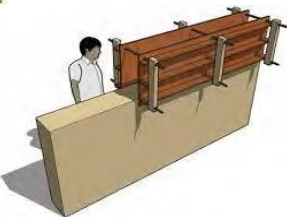
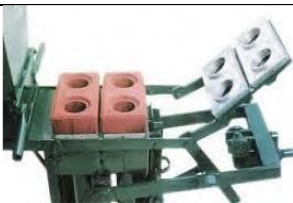



Classification des MT :

Selo leur utilisation on ordinaire deux groupes de MT :

*1 MT ordinaire : MTO

*2 MT de paement : normal et final , MT PN. MT PF

Tableau I-1 : Tableau récapitulatif des techniques de construction en terre crue

Technique	Description	Illustration
Adobe (Houben et al., 2006)	Briques de terre moulées à la main et séchées au soleil. Le matériau a une consistance visqueuse. Des fibres végétales ou animales sont parfois ajoutées au mélange.	
Pisé (Houben et al., 2006)	Murs de terre compactée par couches dans des banches. Le matériau a une consistance ferme.	 
Brique de Terre Comprimée (BTC) (Houben et al., 2006)	Briques le plus souvent parallélépipédiques de terre obtenues par compaction mécanique. Elles sont souvent stabilisées par du ciment ou de la chaux. Le matériau à une consistance ferme.	 
Torchis/terre paille (Houben et al., 2006)	Parois à structure en bois sur laquelle est appliqué un mélange de terre et de fibres végétales telles que la paille.	 

(OUEDRAOGO, Stabilisation de matériaux de construction durables , 21november2019)

I.5 Les stabilisation

I.5.1 La chaux :

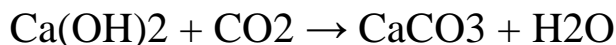
Définition :

Le calcaire est une pierre d'origine naturelle comportant des niveaux élevés de carbonates de calcium et/ou de magnésium. Le terme « chaux » désigne les produits dérivés du calcaire, notamment la chaux vive, la chaux éteinte et la chaux hydraulique.

La chaux permet de diminuer la teneur en eau d'un sol et provoque la floculation des argiles. Suivant la teneur en eau initiale des argiles, quatre types de chaux peuvent être utilisés à savoir :

- La chaux vive (CaO) dans le cas où le sol a une teneur en eau trop importante. La chaux interagit avec l'eau afin de produire du Ca(OH)₂ (chaux éteinte) avec un dégagement de chaleur.

- La chaux éteinte Ca(OH)₂ qui permet la floculation des argiles sans diminution de la teneur en eau



- La chaux hydraulique : Utilisée pour les matériaux massifs

- Le lait de chaux qui permet, lorsque le sol est trop sec, d'augmenter sa teneur en eau.

(FLAMENT, 12.12.2013)

I.5.2 ciment :

I.5.2.1 Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui mélangée avec de l'eau. Forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce

durcissement est du à l'hydratation de certain composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

I.5.2.2 Les constituants principaux :

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

- Calcaire. - Pouzzolane naturelle.
- Laitier de haut fourneau. - Schistes calcinés.
- Cendres volantes. - Fumées de silice.
- Fines calcaires.

I.6 La durabilité :

La durée dans un contexte moderne ne doit pas être disposée par combien de temps un mur de terre tient sans tomber mais aussi dans quelle mesure respectée de la texture originale des surfaces exposées dure sans détérioration. des tensions financières désagréables se sont efforcées de construire avec, blocs de sable-ciment coûteux, bien connus pour la durabilité, la fiabilité et un effet esthétique agréable. (C. Egenti [↑](#), Received 25 December 2013; accepted 20 May 2014)

I.7 Etat actuelle de la recherche sur formulation et fabrication d'un mortier en terre crue .

Article 1 :

en France : D'après une thèse doctorat (Cédric FLAMENT.12.12.2013) réalisation cette étude dans l'objectif de *VLORISATION DES FINES DE LAVAGE DE GRANULATS : APPLICATION A LA CONSTRUCTION EN TERRE CRUE*

dans la partie d' Etude du mortier terre, on mélange les parties minérales et sèches du mortier de terre c'est à dire les AC0/100 avec l'ajout ou non de chaux dans l'eau. Le sable est ensuite ajouté progressivement dans le mélange sous une vitesse de malaxage lente. sur la norme NF EN 196-1

le but :déterminer la résistance à la compression, à la traction et au retrait des éprouvettes de mortier.

Les tests dans cette étude sur le mortier (Cédric FLAMENT) :

*1*Consistance du mortier terre par table à secousses NF 1510-3:

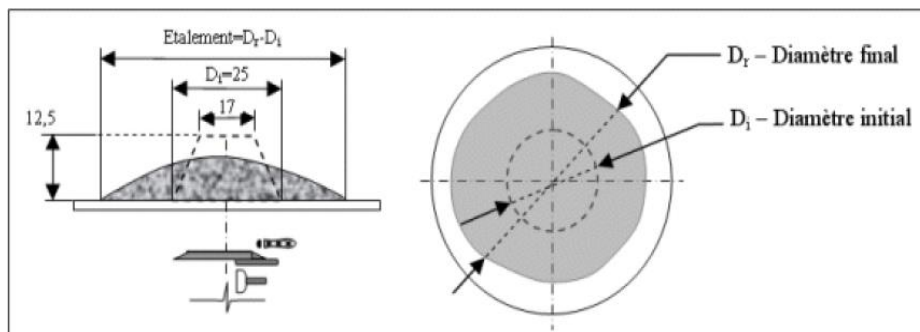


Fig12 :Principe d'essai de la consistance du mortier de terre

*2*Résistance à la flexion des éprouvettes prismatiques :

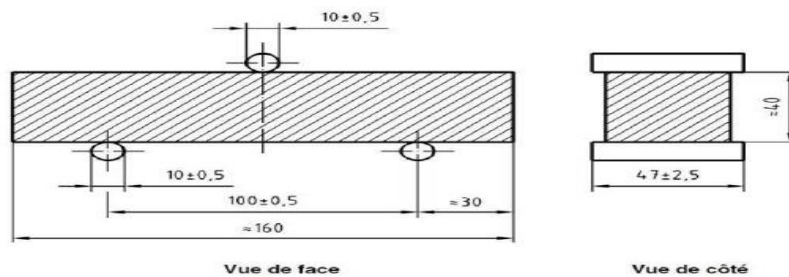


Fig13 :Schéma de principe de l'essai de résistance en flexion sur éprouvette 4-4-16

*3*Résistance à la compression du mortier de maçonnerie Cédric FLAMENT

NF EN 1015-11 et réalisées après 28 j de cure à 20°C et 50% H
Les résistances à la compression sont effectuées par l'intermédiaire d'une presse CBR munie d'un anneau dynamométrique de 3kN .

Le principe de l'essai est de venir charger une section de la demi-éprouvette obtenues après l'essai de flexion afin de pouvoir déterminer la résistance à la compression des éprouvettes de mortiers de terre. La charge de compression est appliquée à la vitesse de chargement de la presse CBR de 1,27 mm/min et suivie par l'anneau dynamométrique

***4*Essais sur muret de brique de terre comprimée**

4-1* Résistance en compression de muret de BTC:

la norme NF EN 1052-1

1- la Presse hydraulique de capacité 250 kN

2-vitesse de chargement de 0.15 N/(mm².min)

3-durée de l'essai comprise entre 8 et 12 minutes suivant les empilements .



Fig14 :. Principe de l'essai de compression sur mure

Article 2 :

- **en France :D'** après une thèse Doctorat (Abalo P'KLA. 3 juillet 2002) réalisation cette étude dans l'objectif *CARACTERISATION EN COMPRESSION SIMPLE DES BLOCS DE TERRE COMPRIMEE (BTC) : APPLICATION AUX MACONNERIES "BTC-MORTIER DE TERRE"*

- **1La formulation du mortier:** à plus de 88% en poids sec de terre stabilisé au ciment
- * utilise 4 type de Terre (Tassin. Magagnosc . Rochechinard . Tamée)
- **2Le bute :**étude de comportement (mortier et des mur en terre) .

3*Les tests dans cette étude sur le mortier (Abalo P'KLA) :

3*1 Essai de compression simple .

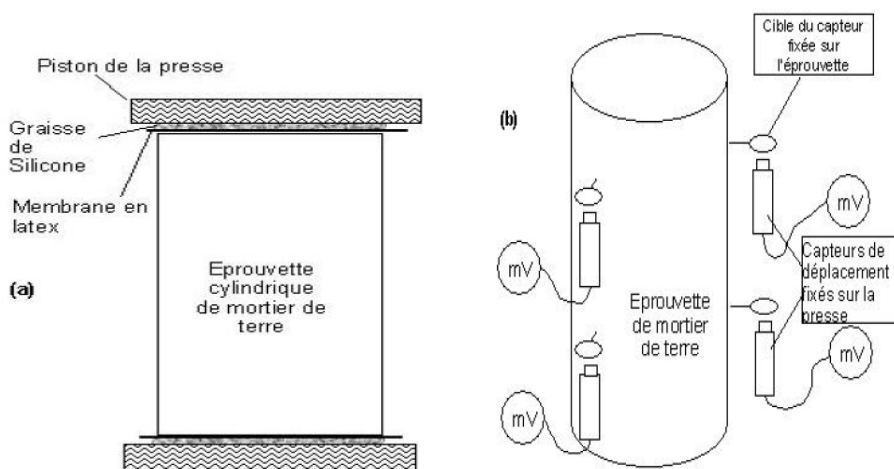


Fig15 :Dispositif d'essai sur échantillons cylindriques de mortier

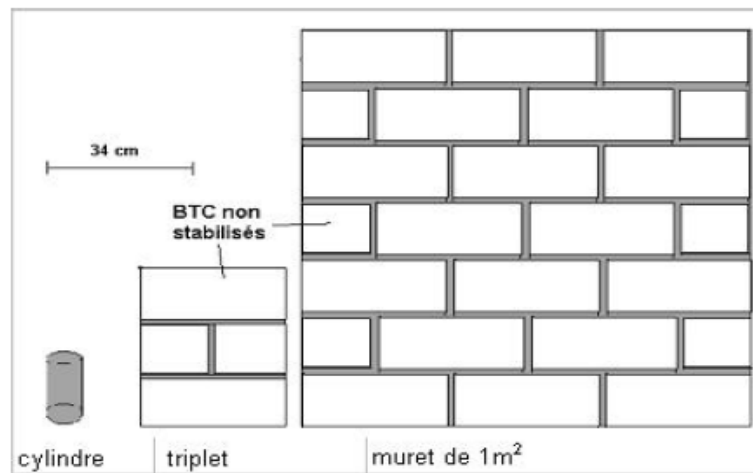


Fig16 :Compression simple sur éprouvette cylindrique et éléments de maçonnerie (BTC et mortier de terre Tassin) .

Article 3 :

- **en India :** D'après article (H. G. Vivek Prasad and K. S. Jagadish. 2007) réalisation cette étude dans l'objectif *Emboîtement dans les blocs de boue pour une amélioration Résistance à la flexion*
- **La formulation :** à plus de 63% en poids sec de terre stabilisé au ciment et la chaux
- **Le bute :** déterminer le meilleur mortier dans la résistance à la flexion
- **Les tests dans cette étude sur le mortier (H. G. Vivek . K. S.Jagadish):**
 - * Test de compression
 - * Test de résistance à la flexion
 - * Comparaison de la résistance à la flexion

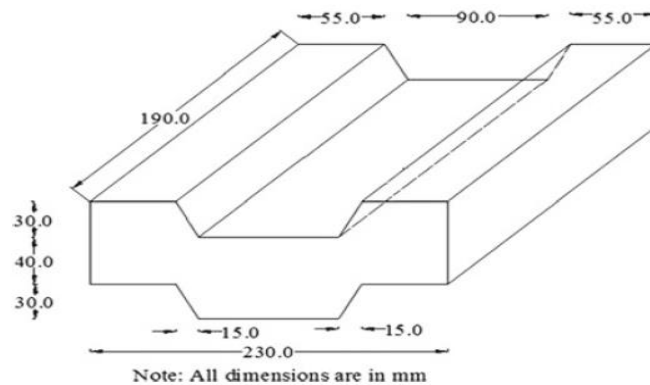


Fig17 :Les détails de Emboîtement de 30 mm de profondeur blocs

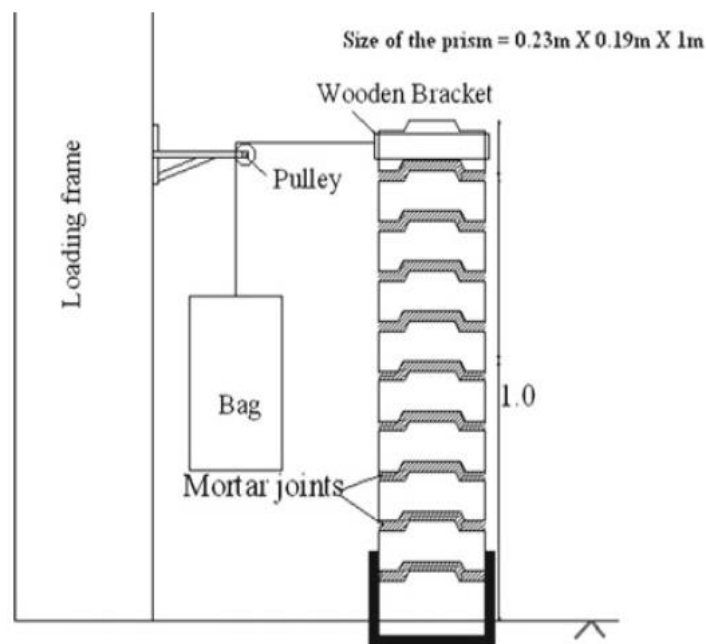


Fig18 :Croquis typique de l'arrangement



Fig19 : Échec à l'interface liant-mortier

Article 4 :

- **en India** :D' apres article (B. V. Venkatarama Reddy, V. Suresh and K. S. Nanjunda Rao 2016) réalisation cette étude dans l'objectif *principal était de comprendre la résistance à la compression des murs CSRE et de comprendre la capacité de réduction de la résistance due aux effets d'excentricité et d'élançement de la charge*
- **La formulation** : terre et 10% de ciment
-



Fig20: Metal mould assembly, compaction process and CSRE wall specimen



Fig21 : Test de compression
mise en place pour le mur CSRE



Fig22 : Modèle de défaillance typique pour les murs CSRE sous aucune compression
excentrique

Tableau I. 2.de: L'état actuelle de la recherche sur formulation et fabrication d'un mortier en terre crue .

Auteurs	Pays	Sujet	Appareil	Nouveauté	Résultats
ART.TE RRE Mayotte 24/05/20 18	France	OUVRAGES EN MAÇONNERIE DE BTC BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE <i>parois et murs</i>	conformes à la norme NF EN 998-2 pour mortier recette ou NF EN 1996-2 pour mortier chantier.	*eau claire et non acide *pourcenta ge de fines < à 5% (sable *3 type de la chaux *5 type de ciment	Résistance à la compression fm selon la EN 1015-11 8 (N/mm ²) 2.5(N/mm ²)
B. Samali.et all.. 2006	san Francisc o U.S.A	La terre un matériau de construction une alternative pour une solution durable	table teste and dynamique	d'améliorer la capacité séismique d'un panneaux en brique de terre	façon générale, le modèle en 3K à exécuté mieux
Walker P, Stace T. 1997	U.K	La Résistance en compression des terres stabilisées au ciment	Test compression avec frettage sur Cube de 5	Stabilisati on Ciment 5, 10,15%	F compression 4,73[MPa]
J. Eid et all.. 2016		Interaction Terre-Acier : Application aux matériaux de construction à base de terre crue	Analyse électrochimiq ue	l'acier et8% de ciment et 3% de chaux.	La vitesse de corrosion entre 6 µm/an et 20 µm/an.
D. Gallipoli et all.. 2016	<i>France</i>	Terre crue compactée à haute pression et méthodes de stabilisation : propriétés mécaniques, hydriques et durabilité	pression maximale de 100 MPa	silane/ siloxane ou l'addition d'hydroxy de de sodium	amélioration du comporteme nt mécanique de la terre crue

Chapitre II :

Matériaux d'étude et technique
Expérimental

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre , nous décrivons les moyens et les échantillons avec toutes les techniques utilisées dans cette expérience en plus de l'équipement et des méthodes. Après avoir prélevé des échantillons sur le site .

Ensuite, nous préparons les différentes méthodes et les appliquons aux échantillons.

Dans ce chapitre, nous présentons les différents critères de sélection des matériaux pour la fabrication du mortier de terre et stabilisant.

II.2 Matériaux utilisés :

Les matériaux utilisés dans cette recherche sont: La terre, le ciment, la chaux , sable et l'eau.

2.1 origine de la terre :

La terre étudiée est extraite de différents sites de la région de la wilaya de M'sila (Algérie) :

l'argile grise est extraite de la ville « Al-Rachana », l'argile verte est extraite de la ville «Mâadid » et l'argile rouge est extraite à partir de « Chaâba l'hamra » , et l'argile blanche est extraite à partir de « Hammam dalaa » ,il est choisi sur la base de sa disponibilité et son abondance dans la région.

Nous avons utilisés quatre types de terre, argile n°1 « terre rouge (*Argrge*) », terre n°2 « terre verte (*Argvrt*) », terre n°3 « terre grise (*Arggrs*) », terre n°4 « terre blanche (*Arg blan*) ». ([Hanane, 2018/2019](#))



Fig1 :Terre gris



fig2 :terre vert



fig3 :terre rouge



fig4 :terre blanche

II.2.2 Caractérisation et méthodes expérimentales :

Les quatre échantillons différents utilisés dans le mélange ont été prélevés. À partir de différents sites. On remarque la différence de forme et de couleur en la regardant. Il a également une différence en termes de physique et de minéral. et la géotechnique . Ces échantillons ont été classés et leur effet sur le développement du mortier de terre.

II.2.2.1 Analyse granulométrique tamisage (NF P 94-056) :

Elle s'est orientée vers la méthode de tamisage à sec Norme Française P 94-056 L'application de cette méthode exige le respect d'un certain nombre d'étapes. D'abord, les échantillons ont été séchés dans une enceinte thermique à température globale de 105°C durant 24h. En sus, chaque échantillon est pesé pour avoir sa masse initiale. Le tamisage sec des particules sédimentaires a été effectué sur une colonne de 15 tamis dont les mailles varient de 1,25 mm à 0,080 mm. Ensuite, nous avons versé la totalité du matériau séché d'un échantillon au sommet du tamis de maille supérieure en agitant manuellement le tamis pour faciliter le passage tamis (de diamètre inférieur au premier tamis) puis peser. La masse obtenue donne les refus cumulés ainsi de suite jusqu'au dernier tamis: 0,080 mm. Enfin, les données obtenues : masse de refus cumulés, pourcentage de refus cumulés et le pourcentage de passant cumulés sont répertoriés et ont fait l'objet de traitement dans le but de calculer le pourcentage

des populations granulométriques. (Cheikh Omar Tidjani CISSE *, 2019)des sédiments. En outre, les refus des tamis sont versés puis pesés sur la balance électronique. On ajoute dans ce même récipient le refus du deuxième



Fig5 : Appareillage de l'analyse granulométrique par tamisage.

**** Observation ****

En raison du manque de temps pour nous, nous avons pris les résultats des expériences approuvées par l'étudiant l'année dernière à partir de la mémoire de fin d'études, obtenue dans le laboratoire de matériaux et de géotechnique de l'Université de M'sila. (Hanane, 2018/2019)

Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus Cumulés (g)	Cumulés (%)	Tamisât (%)
2,5	00	00	00	100
1,25	00	00	00	100
0,630	543,6	543,6	27,18	72,82
0,315	568,8	1112,4	55,62	44,38
0,160	465,3	1577,7	78,88	21,12
0,08	240,5	1817,5	90,87	9,13
Fond	182,4	1999,9	99,99	0,01

Tableau1: Analyse granulométrique pour le type d'argile *Arggrs*.

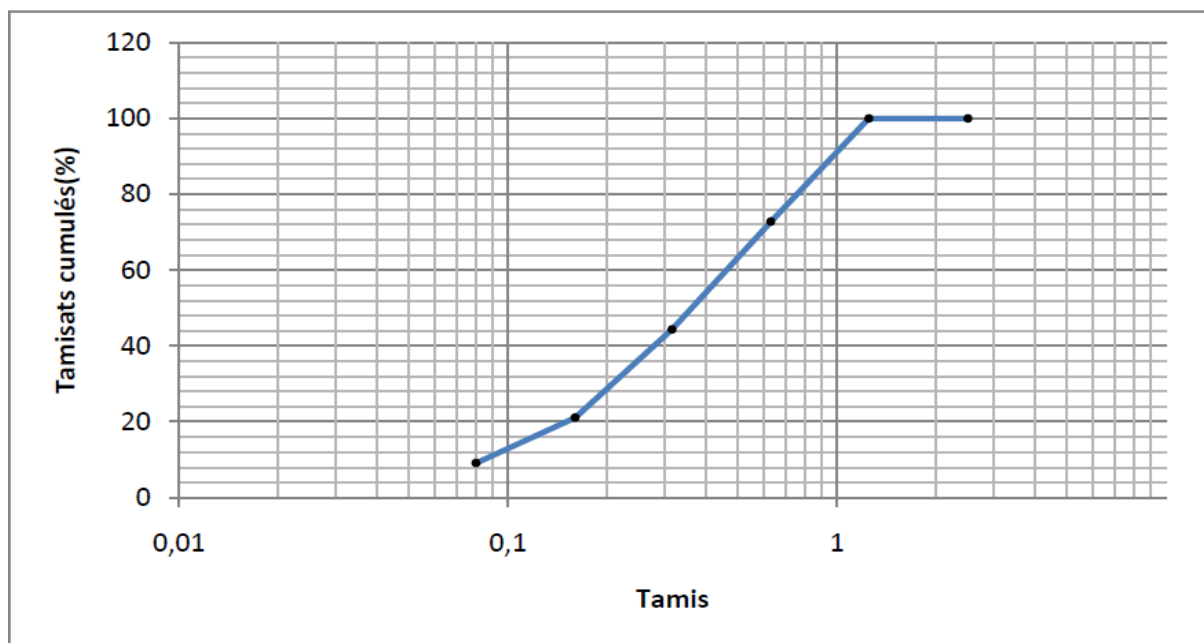


Fig6: Courbe granulométrique d'argile *Arggrs*.

Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus Cumulés (g)	Cumulés %	Tamisât %
2,5	00	00	00	100
1,25	00	00	00	100
0,630	438	438	21,9	78,1
0,315	532,8	970,8	48,54	51,46
0,160	601,8	1572,6	78,63	21,37
0,08	302,7	1875,3	93,76	6,24
Fond	124,3	1999,6	99,98	0,02

Tableau2 : Analyse granulométrique pour le type d'argile *Argrge*.

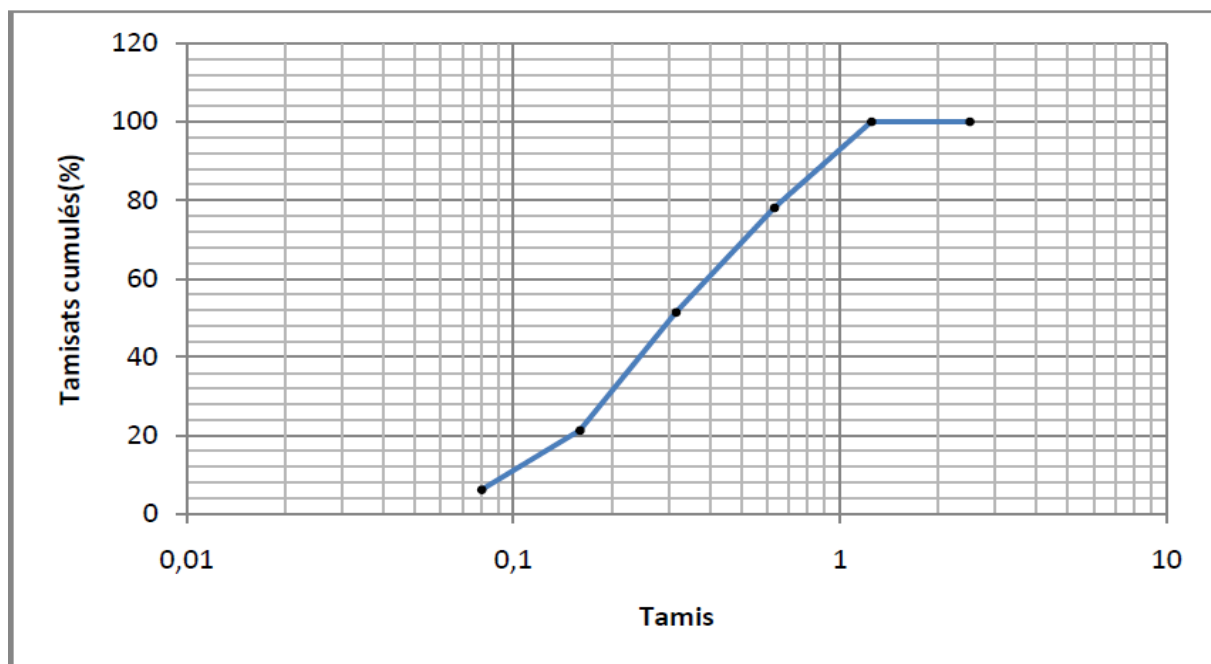


Fig7 : Courbe granulométrique d'argile *Argrge*

Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus Cumulés (g)	Cumulés (%)	Tamisât (%)
2,5	00	00	00	100
1,25	00	00	00	100
0,630	664,8	664,8	33,24	66,76
0,315	633,9	1298,7	64,93	35,07
0,160	630,8	1929,5	96,47	3,53
0,08	53,2	1982,7	99,13	0,87
Fond	16,8	1999,5	99,97	0,03

Tableau3 : Analyse granulométrique pour le type d'argile *Argvrt.*

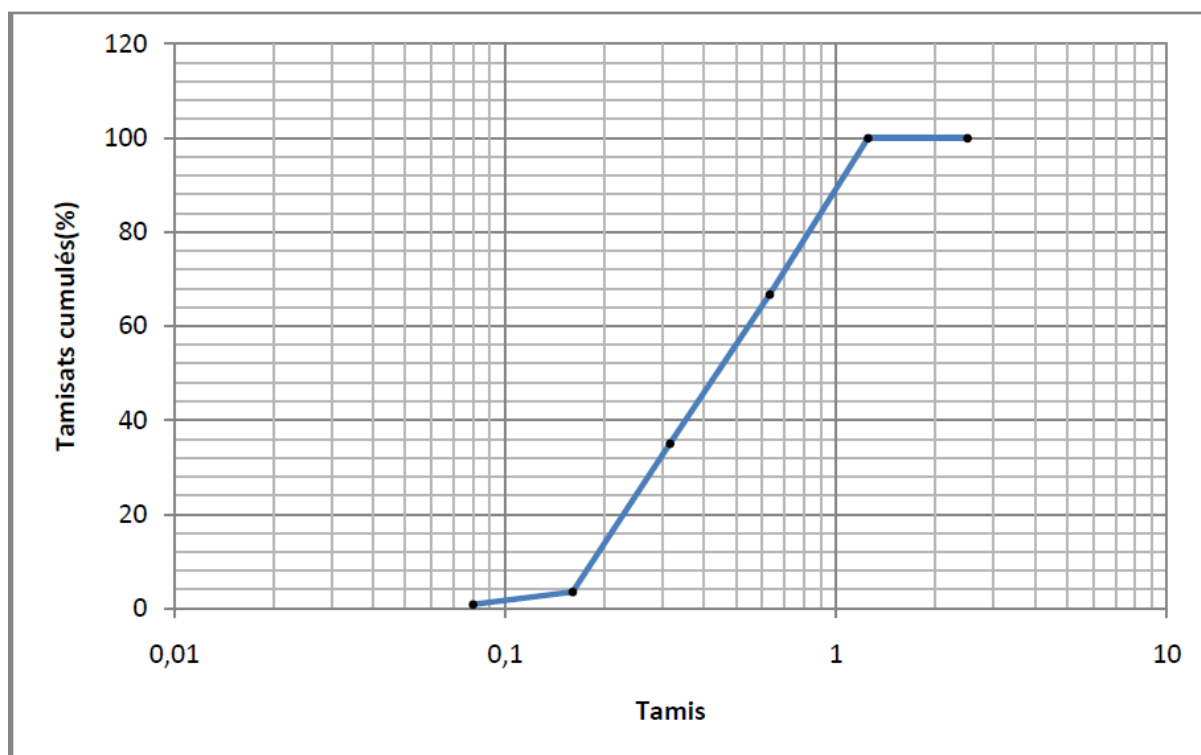


Fig8 : Courbe granulométrique d'argile *Argvrt.*

II.2.2.2 Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)

La limite de liquidité équivaut, à la teneur en eau d'un sol au point de passage entre l'état liquide et l'état plastique.

La limite de plasticité est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

L'objectif de l'essai est de déterminer l'indice de plasticité (I.P)

Ip = Wl - Wp qui correspond à la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, cet indice définit l'étendu du domaine plastique. (Haytam Tribak, 2020)

IP : indice de plasticité : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les Limites de liquidité et de plasticité. (Figure 9).

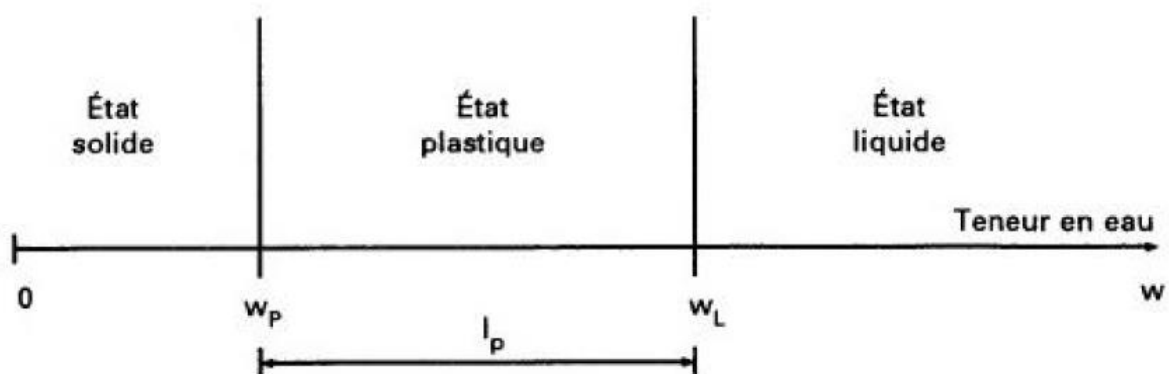


Fig9: Présentation des limites d'Atterberg.



Fig10: Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande. (Hanane, 2018/2019)



Fig11 : Limite de plasticité au rouleau

La limite d'Atterberg

Les types	Limite de liquidité WL	Limite de plasticité WP	L'indice de plasticité IP
d'argile	(%)	(%)	(%)
Argile Grise	50,52	33,56	16,96
Argiles Rouge	24,08	18,74	5,34
Argiles verte	26,83	25,46	1,37

Tableau4: Les résultats obtenus par l'essai de la limite d'Atterberg pour les 03 types des argiles. (Hanane, 2018/2019)

-D'après le diagramme de Casagrande l'argile grise est classée parmi les sols argileux très plastiques.

-D'après le diagramme de Casagrande l'argile rouge est classée parmi les sols Limons Peu plastiques.

-D'après le diagramme de Casagrande l'argile verte est classée parmi les sols Limons Peu plastiques. (Hanane, 2018/2019)

II.2.2.3 Composition minéralogique (DRX): (Hanane, 2018/2019)

La composition minéralogique des échantillons a été déterminée par la technique de la diffraction des rayons X, qui permet d'identifier les différentes phases minérales cristallisées présentes dans l'échantillon. L'appareillage utilisé est le diffractomètre (Figure 12).

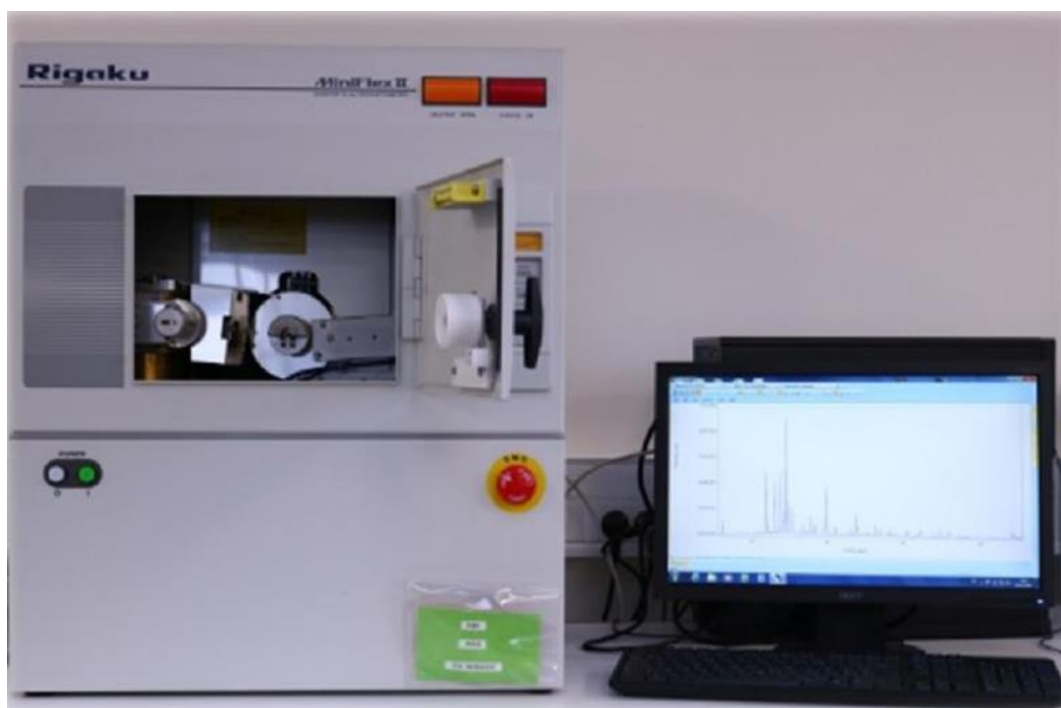


Fig12 : appareillage Diffractomètre.

Les diffractogrammes des différents échantillons sont présentés dans les tableaux (II.5.a et II.6.b) suivants :

Type D'argile	R_Wp %	Calcite %	Dolomite %	Quartz %	Pyrite %	Illite %
Argile grise	7,27	21,79	4,99	27,32	0,42	24,04
Argile verte	8,04	16,83	2,42	25,73	0,14	25,97
Argile rouge	7,05	55,24	10,95	7,9	0,26	18,72

Tableau II.5.a : Composition minéralogique des échantillons (%)

Type D'argile	Chlorite %	Kaolinite %	Albite %	CO2_XRD %	PAF %
Argile grise	7,27	21,79	4,99	27,32	0,42
Argile verte	8,04	16,83	2,42	25,73	0,14
Argile rouge	7,05	55,24	10,95	7,9	0,26

Tableau II.6.b : Composition minéralogique des échantillons (%)

Commentez le tableau :

Notez à travers les tableaux. Les composants de chaque sol, on retrouve des proportions variables.

* **La terre gris** est composé d'un pourcentage élevé de quartz et d'illite.

***La terre vert** se compose également principalement de quartz et d'illite.

*Quant au **terre rouge**, le pourcentage de calcite est beaucoup plus élevé.

II.2.3 Ciment :

Le ciment utilisé est le ciment de la cimenterie Lafarge de hammam dalâa (wilaya de M'Sila) « MATINE » CPJ-CEM II 42.5



Fig13 : Le types de ciment utilisé.

II.2.4 L'eau de gâchage :

L'eau utilisée dans les mélanges est une eau potable de laboratoire de développement des Géo matériaux Université de M'sila.

Conclusion :

Dans ce chapitre, les résultats des caractérisations physique, minéralogique et géotechnique des quater échantillons de sols ont été présentés. Les différents essais d'identification ont permis de déterminer les propriétés de chacune de ces matières premières, qui sont utilisées principalement dans l'industrie de la brique de terre crue. en effet, la connaissance des caractéristiques de la matière première permet de bien comprendre leur comportement lors de la production des briques (façonnage, séchage).

L'argile grise est une argile très plastique, par contre les autres types d'argiles (rouge et verte) sont des argiles peu plastiques.

On remarque que l'argile grise et l'argile verte se convergent en leur pourcentage de la composition minérale.

Nous avons utilisé deux types de stabilisant - ciment CEM II 42.5 du groupe Lafarge. et la chaux . avec % de sable

les essais d'identification sont complémentaires, ils permettent d'expliquer et d'analyser les résultats

CHAPITRE III:
METHODEDES PLANS D'EXPERIENCE

III.1 Introduction :

Les plans d'expérience sont de plus en plus utilisés dans l'industrie et dans les laboratoires de recherche. Ils permettent en effet de modéliser au mieux un phénomène aléatoire, le plus souvent complexe, à l'aide d'un minimum d'essais. Ils s'inscrivent donc dans la démarche constante d'amélioration de la qualité ou de la productivité (Tinsson, (2010).)

III.2 Choix de la méthode d'expérimentation :

La méthode d'expérimentation choisie doit faciliter l'interprétation des résultats. Elle doit également minimiser le nombre des essais sans toutefois sacrifier la qualité. La théorie des plans d'expériences assure les conditions pour lesquelles on obtient la meilleure précision possible avec le minimum d'essais. On a donc le maximum d'efficacité avec le minimum d'expériences et par conséquent le coût minimum. (Pr.Bencheikh)

III.3 Les différents types de facteurs :

La construction des plans et l'interprétation des résultats dépendent en grande partie des types de facteurs rencontrés dans l'étude. On distingue plusieurs types de facteurs. Nous retiendrons les types de facteurs suivants : les facteurs continus, les facteurs discrets, les facteurs , ordonnables, les facteurs booléens. (Pr.Bencheikh)

a- Facteurs continus : La pression est un exemple de facteur continu. Dans un intervalle de pression donné, on peut choisir toutes les valeurs possibles. Il en est de même d'une longueur, d'une concentration ou d'une température. Les valeurs prises par les facteurs continus sont donc représentées par des nombres continus.

b- Facteurs discrets : au contraire, les facteurs discrets ne peuvent prendre que des valeurs particulières. Ces valeurs ne sont pas forcément numériques : on

peut représenter un facteur discret par un nom, une lettre, une propriété ou même par un nombre qui n'a alors en soi aucune valeur numérique mais qu'une signification de repère. Par exemple, on peut s'intéresser aux couleurs d'un produit : bleu, rouge et jaune sont des facteurs discrets.

c- Facteurs ordonnables : il s'agit de facteurs discrets que l'on peut mettre dans un ordre logique. Par exemple, grand, moyen, petit, ou encore premier, deuxième, troisième et quatrième.

d- Facteurs booléens : les facteurs booléens sont des facteurs discrets qui ne peuvent prendre que deux valeurs : haut ou bas, ouvert ou fermé, blanc ou noir, etc.

III.4 Notion d'espace expérimental :

Un expérimentateur qui lance une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure à chaque essai. Cette grandeur s'appelle la **réponse**, c'est la grandeur d'intérêt. La valeur de cette grandeur dépend de plusieurs variables. Au lieu du terme «variable» on utilisera le mot **facteur**. La réponse dépend donc de un ou de plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe gradué et orienté (Figure1). La valeur donnée à un facteur pour réaliser un essai est appelée **niveau**. Lorsqu'on étudie l'influence d'un facteur, en général, on limite ses variations entre deux bornes. La borne inférieure est le niveau bas. La borne supérieure est le niveau haut.

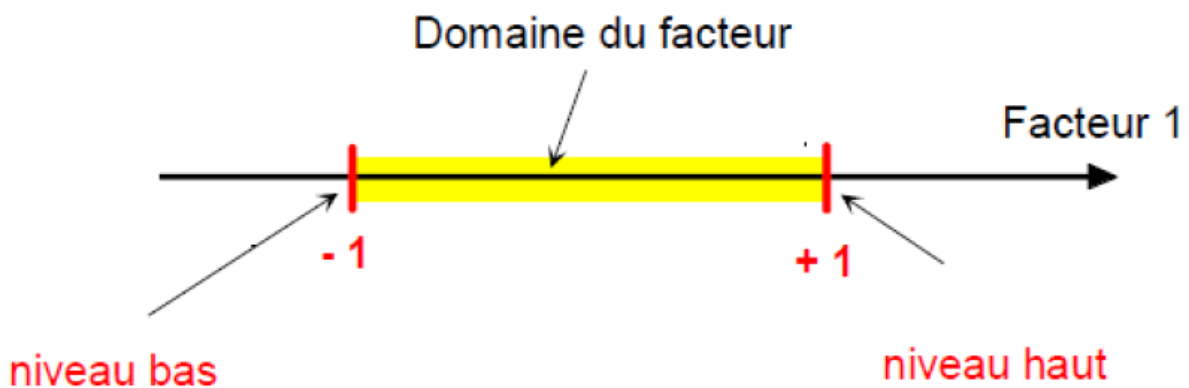


Fig1: Le niveau bas, le niveau haut, et le domaine d'un facteur

Le niveau bas du facteur est noté par - 1 et le niveau haut par +1. Le domaine de variation du facteur est constitué de toutes les valeurs comprises entre le niveau bas et le niveau haut.

L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur ou plus simplement le *domaine* du facteur. On a l'habitude de noter le niveau bas par -1 et le niveau haut par +1. S'il y a un second facteur, il est représenté, lui aussi, par un axe gradué et orienté. On définit, comme pour le premier facteur, son niveau haut, son niveau bas et son domaine de variation. Ce second axe est disposé orthogonalement au premier. On obtient ainsi un repère cartésien qui définit un espace euclidien à deux dimensions. Cet espace est appelé *l'espace expérimental* (Figure 2).

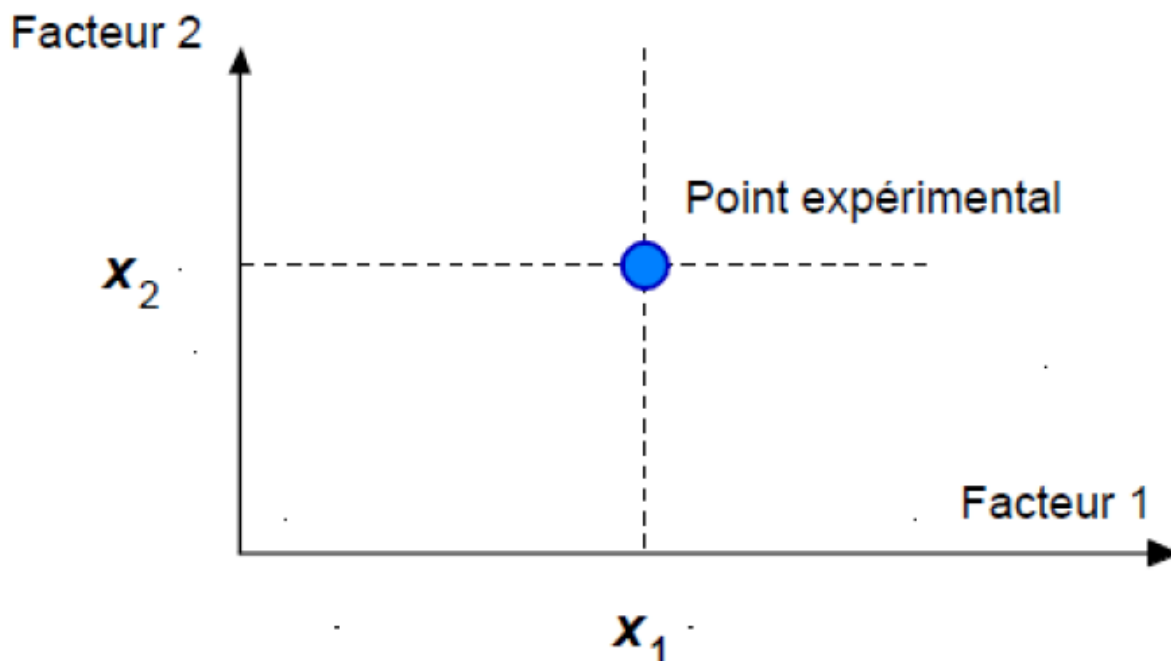


Fig2 : L'espace expérimental d'un facteur.

Chaque facteur est représenté par un axe gradué et orienté. Les axes des facteurs sont orthogonaux entre eux. L'espace ainsi défini est l'espace expérimental.

Le niveau x_1 du facteur 1 et le niveau x_2 du facteur 2 peuvent être considérés comme les coordonnées d'un point de l'espace expérimental (Figure 3). Une

expérience donnée est alors représentée par un point dans ce système d'axes. Un plan d'expériences est représenté par un ensemble de points expérimentaux.

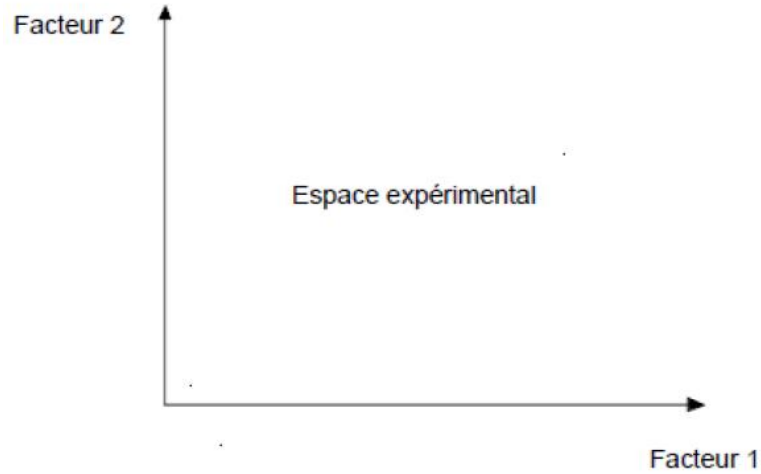


Fig3 : Les points expérimentaux dans un espace expérimental.

Dans l'espace expérimental, les niveaux des facteurs définissent des points expérimentaux. Le regroupement des domaines des facteurs définit le «*domaine d'étude*». Ce domaine d'étude est la zone de l'espace expérimental choisie par l'expérimentateur pour faire ses essais. Une étude, c'est-à-dire plusieurs expériences bien définies, est représentée par des points répartis dans le domaine d'étude (Figure 4).

Cette façon de représenter une expérimentation par des points dans un espace cartésien est une représentation géométrique de l'étude. (Pr.Bencheikh)

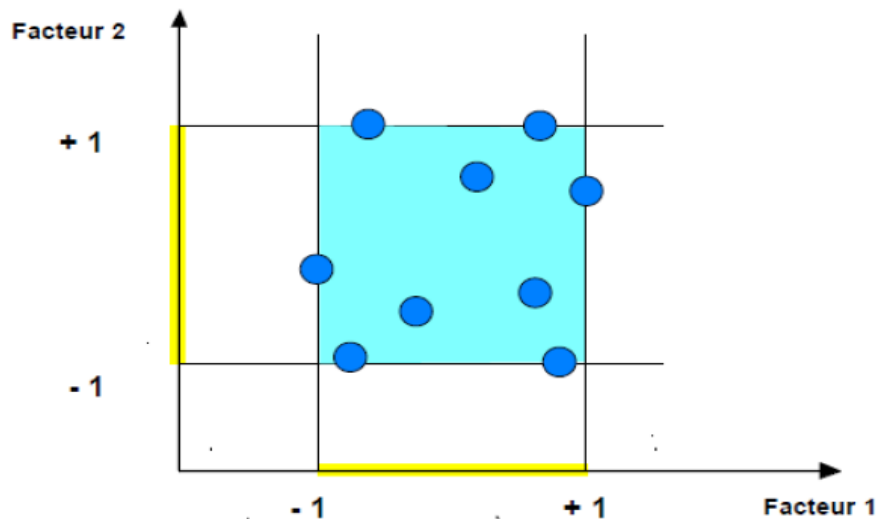


Fig4: Les points expérimentaux dans un domaine d'étude.

III.5 Notion de modélisation mathématique :

On choisit a priori une fonction mathématique qui relie la réponse aux facteurs. On prend un développement limité de la série de Taylor-Mac Laurin. Les dérivées sont supposées constantes et le développement prend la forme d'un polynôme de degré plus ou moins élevé :

$$Y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + L + \sum a_{ii} x_i^2 + a_{ij} \dots z x_i x_j \dots x_z$$

y est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation et elle est obtenue avec une précision donnée.

- x_i représente le niveau attribué au facteur i par l'expérimentateur pour réaliser un essai. Cette valeur est parfaitement connue. On suppose même que ce niveau est déterminé sans erreur (hypothèse classique de la régression).
- a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} sont les coefficients du modèle mathématique adopté a priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.
- L'intérêt de modéliser la réponse par un polynôme est de pouvoir calculer ensuite toutes les réponses du domaine d'étude sans être obligé de faire les expériences.

Ce modèle est appelé "*modèle postulé*" ou "*modèle a priori*" (Pr. Bencheikh).

III.6 Logiciel utilisé :

III.6.1 Présentation de logiciel « Minitab » :

« MINITAB » est un logiciel statistique mis au point, à l'origine, par le Département de Statistique de l'Université de Pennsylvanie (U.S.A.). Il est particulièrement bien adapté à l'analyse statistique de petits tableaux de données bien structurés : statistique descriptive, analyse de la variance, méthodes relatives à la corrélation et à la régression simple et multiple, séries chronologiques, tests d'indépendance, méthodes non paramétriques, analyse en composantes principales, analyse discriminante, Contrôle statistique de la qualité, plans expérimentaux, etc.

Logiciel développé depuis 1972 et disponible en 8 langues.

III.6.1.1 Diagramme de Pareto :

Diagramme de Pareto : c'est un graphique représentant l'importance de différentes causes d'un phénomène. Ce diagramme permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effet et ainsi de prendre des mesures ciblées pour améliorer une situation.

III.6.1.2 Graphique des effets :

Un graphique des effets principaux permet d'examiner les différences entre les moyennes des niveaux d'un ou plusieurs facteurs. On parle d'effet principal lorsque les différents niveaux d'un facteur ont une incidence sur la réponse. Un graphique des effets principaux affiche la moyenne de la réponse pour chaque niveau de facteur connecté par une ligne.

III.6.1.3 Graphique des interactions :

La fonction Diagramme des interactions permet de déterminer l'influence d'un facteur de catégorie sur la relation entre un second facteur de catégorie et une réponse continue. Ce diagramme affiche les moyennes correspondant aux niveaux d'un facteur sur l'axe des X, ainsi qu'une courbe distincte pour chaque niveau d'un autre facteur.

Conclusion :

La méthode des plans d'expériences consiste à organiser la démarche expérimentale et l'analyse décisionnelle en appliquant des règles rigoureuses basées sur l'exploitation des propriétés algébriques et statistiques des matrices décrivant les expériences. Elle amène une méthodologie pour résoudre nos problèmes d'optimisation.

Chapitre IV

Elaboration d'un prototype expérimentale de mortier en terre

IV.1 Introduction :

D'après la détermination des caractéristiques des différents matériaux utilisés, nous allons présenter dans ce chapitre les essais réalisées sur le mortier de terre et stabilisé par ciment et par la chaux et sable.

IV.2 Confection le mortier :

IV.2.1 Mélanges :

Dans le but d'améliorer la résistance des matériaux locaux utilisés dans les constructions, plusieurs traitements ont vu le jour. Il s'agit par exemple des traitements des argiles par le ciment, par la chaux. Ces techniques d'amélioration de la résistance des matériaux locaux font appel à la technique de mélange afin d'homogénéiser et de bien répartir le traitement dans l'ensemble du matériau.

IV.2.2 Préparation des mélanges :

IV.2.2.1 Etapes de préparation :

Les étapes suivantes :

1-On pèse les quantités nécessaires des différents matériaux : la terre, ciment, chaux, sable et eau.

2- Matériel spécifique : Pour la confection des éprouvettes nécessaires au programme d'essai, on a conçu un moule prismatique 4-4-16 .

3- Préparation des moules : après le nettoyage et graissage à l'aide d'une huile le moule est prêt pour l'utilisation.

4- le mélange: L'opération est exécutée comme suit:

*On pose l'argile sèche avec la quantité du ciment ou la chaux, et sable avec eux. Mélange les matériaux sec .

*On ajoute une quantité d'eau, puis on mélange par la main .



Fig1 : mélange les matériaux avec eux.

5- Le moulage des éprouvettes : cette opération est exécutée à la main.



Fig2 :moulage les éprouvettes

Avant démoulage 0-24 h: en pose les éprouvette dans une chambre de cure conservé dans des sacs en plastique :20°C



Fig3 : la cure des éprouvettes Avant démoulage 0-24 h

7- le démoulage des éprouvettes :

Démouler les éprouvettes après 24 heures.

IV.2.2.2 Préparation du mélange :

Les mélanges sont préparés selon la méthodologie des plans d'expérience :

Les facteurs :

*F1(type de terre) terre gris ; rouge ; blanc ; verte .

*F2(sable %) :0% ;30% ;60%

*F3(E/c) : 0.6 ;0.7. ????

*F4(type de stabilisation). Ciment 42.5 ; chaux ;
[50%(cim) ;50%(chaux)]

*F5(% de stabilisation) : 10% ;30%.

La composition des mélanges employés dans cette étude est présentée sur le tableau

LA DAT	N°	F1	F2 %	F3	F4	F5 %
	1	TG	0	0,6	cim	10
	2	TG	0	0,6	cim	30
	3	TG	0	0,6	chaux	10
	4	TG	0	0,6	chaux	30
	5	TG	0	0,7	50%	10
	6	TG	0	0,7	50%	30
	7	TG	0	0,7	cim	10
	8	TG	0	0,7	cim	30
	9	TG	0	0,6	chaux	10
	10	TG	0	0,6	chaux	30
	11	TG	0	0,6	50%	10

12	TG	0	0,6	50%	30
13	TG	30	0,7	cim	10
14	TG	30	0,7	cim	30
15	TG	30	0,7	chaux	10
16	TG	30	0,7	chaux	30
17	TG	30	0,6	50%	10
18	TG	30	0,6	50%	30
19	TG	30	0,6	cim	10
20	TG	30	0,6	cim	30
21	TG	30	0,7	chaux	10
22	TG	30	0,7	chaux	30
23	TG	30	0,7	50%	10
24	TG	30	0,7	50%	30
25	TG	60	0,6	cim	10
26	TG	60	0,6	cim	30
27	TG	60	0,6	chaux	10
28	TG	60	0,6	chaux	30
29	TG	60	0,7	50%	10
30	TG	60	0,7	50%	30
31	TG	60	0,7	cim	10
32	TG	60	0,7	cim	30
33	TG	60	0,6	chaux	10
34	TG	60	0,6	chaux	30
35	TG	60	0,6	50%	10
36	TG	60	0,6	50%	30
37	TR	0	0,7	cim	10
38	TR	0	0,7	cim	30
39	TR	0	0,7	chaux	10
40	TR	0	0,7	chaux	30
41	TR	0	0,6	50%	10
42	TR	0	0,6	50%	30
43	TR	0	0,6	cim	10

44	TR	0	0,6	cim	30
45	TR	0	0,7	chaux	10
46	TR	0	0,7	chaux	30
47	TR	0	0,7	50%	10
48	TR	0	0,7	50%	30
49	TR	30	0,6	cim	10
50	TR	30	0,6	cim	30
51	TR	30	0,6	chaux	10
52	TR	30	0,6	chaux	30
53	TR	30	0,7	50%	10
54	TR	30	0,7	50%	30
54	TR	30	0,7	cim	10
54	TR	30	0,7	cim	30
54	TR	30	0,6	chaux	10
54	TR	30	0,6	chaux	30
54	TR	30	0,6	50%	10
54	TR	30	0,6	50%	30
54	TR	60	0,7	cim	10
62	TR	60	0,7	cim	30
63	TR	60	0,7	chaux	10
64	TR	60	0,7	chaux	30
65	TR	60	0,6	50%	10
66	TR	60	0,6	50%	30
67	TR	60	0,6	cim	10
68	TR	60	0,6	cim	30
69	TR	60	0,7	chaux	10
70	TR	60	0,7	chaux	30
71	TR	60	0,7	50%	10
72	TR	60	0,7	50%	30
73	TB	0	0,6	cim	10
74	TB	0	0,6	cim	30
75	TB	0	0,6	chaux	10

76	TB	0	0,6	chaux	30
77	TB	0	0,7	50%	10
78	TB	0	0,7	50%	30
79	TB	0	0,7	cim	10
80	TB	0	0,7	cim	30
81	TB	0	0,6	chaux	10
82	TB	0	0,6	chaux	30
83	TB	0	0,6	50%	10
84	TB	0	0,6	50%	30
85	TB	30	0,7	cim	10
86	TB	30	0,7	cim	30
87	TB	30	0,7	chaux	10
88	TB	30	0,7	chaux	30
89	TB	30	0,6	50%	10
90	TB	30	0,6	50%	30
91	TB	30	0,6	cim	10
92	TB	30	0,6	cim	30
93	TB	30	0,7	chaux	10
94	TB	30	0,7	chaux	30
95	TB	30	0,7	50%	10
96	TB	30	0,7	50%	30
97	TB	60	0,6	cim	10
98	TB	60	0,6	cim	30
99	TB	60	0,6	chaux	10
100	TB	60	0,6	chaux	30
101	TB	60	0,7	50%	10
102	TB	60	0,7	50%	30
103	TB	60	0,7	cim	10
104	TB	60	0,7	cim	30
105	TB	60	0,6	chaux	10
106	TB	60	0,6	chaux	30
107	TB	60	0,6	50%	10

108	TB	60	0,6	50%	30
109	TV	0	0,7	cim	10
110	TV	0	0,7	cim	30
111	TV	0	0,7	chaux	10
112	TV	0	0,7	chaux	30
113	TV	0	0,6	50%	10
114	TV	0	0,6	50%	30
115	TV	0	0,6	cim	10
116	TV	0	0,6	cim	30
117	TV	0	0,7	chaux	10
118	TV	0	0,7	chaux	30
119	TV	0	0,7	50%	10
120	TV	0	0,7	50%	30
121	TV	30	0,6	cim	10
122	TV	30	0,6	cim	30
123	TV	30	0,6	chaux	10
124	TV	30	0,6	chaux	30
125	TV	30	0,7	50%	10
126	TV	30	0,7	50%	30
127	TV	30	0,7	cim	10
128	TV	30	0,7	cim	30
129	TV	30	0,6	chaux	10
130	TV	30	0,6	chaux	30
131	TV	30	0,6	50%	10
132	TV	30	0,6	50%	30
133	TV	60	0,7	cim	10
134	TV	60	0,7	cim	30
135	TV	60	0,7	chaux	10
136	TV	60	0,7	chaux	30
137	TV	60	0,6	50%	10
138	TV	60	0,6	50%	30
139	TV	60	0,6	cim	10

140	TV	60	0,6	cim	30
141	TV	60	0,7	chaux	10
142	TV	60	0,7	chaux	30
143	TV	60	0,7	50%	10
144	TV	60	0,7	50%	30

Tableau 1: Composition des différents mélanges employés dans cette étude.

IV.3 La cure des éprouvettes :

Comme pour le béton, la résistance d'un sol-liant croît avec l'âge. Après le démoulage, les éprouvettes sont introduites dans une chambre de cure à 50 °C avec humidité de 90% pendant 28 jours.



Fig 4: chambre de cure (du laboratoire de développement Géo matériaux Université de M'sila).



Fig5: Des éprouvettes confectionnées.

Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter les caractéristiques des différentes matières premières qui entrent dans la composition le mortier de terre développé dans cette étude. Il s'agit de la terre et de stabilisants : le ciment et la chaux et sable. A partir ces argiles et ce moule on peut réaliser plusieurs mélanges pour fabriquer le mortier

La présentation de la composition des mélanges et les procédures de fabrication de mortier dans ce chapitre .

Chapitre V :

**« RESULTATS
ET
INTERPRETATIONS »**

V.1 Introduction :

Dans ce chapitre, après avoir utilisé La méthode des plans d'expériences.

On a déterminer les résultat suivant :

N	f1	f2	f3	f4	f5	R
1	TG	30	0.6	Cim	10	1.8
2	TG	30	0.6	Cim	30	2.8
3	TG	30	0.6	Chau	10	2.3
4	TG	30	0.6	Chau	30	3.3
5	TG	30	0.7	Cim	10	2.3
6	TG	30	0.7	Cim	30	3.3
7	TG	30	0.7	Chau	10	2.8
8	TG	30	0.7	Chau	30	3.8
9	TG	60	0.6	Cim	10	5.8
10	TG	60	0.6	Cim	30	6.8
11	TG	60	0.6	Chau	10	4.3
12	TG	60	0.6	Chau	30	5.3
13	TG	60	0.7	Cim	10	6.3
14	TG	60	0.7	Cim	30	7.3
15	TG	60	0.7	chau	10	4.5
16	TG	60	0.7	chau	30	5.8

Tableau 1: de résultat terre gris

N	f1	f2	f3	f4	f5	R
17	TB	30	0.6	Cim	10	5.3
18	TB	30	0.6	Cim	30	6.3
19	TB	30	0.6	Chau	10	3.8
20	TB	30	0.6	Chau	30	4.8
21	TB	30	0.7	Cim	10	5.8
22	TB	30	0.7	Cim	30	6.8
23	TB	30	0.7	Chau	10	4.3
24	TB	30	0.7	Chau	30	5.3
25	TB	60	0.6	Cim	10	9.3
26	TB	60	0.6	Cim	30	10.3
27	TB	60	0.6	Chau	10	5.8
28	TB	60	0.6	Chau	30	6.8
29	TB	60	0.7	Cim	10	9.8
30	TB	60	0.7	Cim	30	10.8
31	TB	60	0.7	chau	10	6.3
32	TB	60	0.7	chau	30	7.3

Tableau 2: de résultat terre blanc

N	F1	F2	F3	F4	F5	R
33	TV	30	0.6	Cim	10	0.8
34	TV	30	0.6	cim	30	1.8
35	TV	30	0.6	chau	10	0.8
36	TV	30	0.6	chau	30	1.8
37	TV	30	0.7	cim	10	1.3
38	TV	30	0.7	cim	30	2.3
39	TV	30	0.7	chau	10	1.3
40	TV	30	0.7	Chau	30	2.3
41	TV	60	0.6	Cim	10	3.8
42	TV	60	0.6	Cim	30	4.8
43	TV	60	0.6	Chau	10	1.8
44	TV	60	0.6	Chau	30	2.8
45	TV	60	0.7	cim	10	4.3
46	TV	60	0.7	Cim	30	5.3
47	TV	60	0.7	Chau	10	2.3
48	TV	60	0.7	chau	30	3.3

Tableau3 : de résultat terre vert

N	F1	F2	F3	F4	F5	R
49	TR	30	0.6	Cim	10	2.8
50	TR	30	0.6	Cim	30	3.8
51	TR	30	0.6	Chau	10	2.8
52	TR	30	0.6	Chau	30	3.8
53	TR	30	0.7	Cim	10	3.3
54	TR	30	0.7	Cim	30	4.3
55	TR	30	0.7	Chau	10	3.3
56	TR	30	0.7	Chau	30	4.3
57	TR	60	0.6	Cim	10	6.8
58	TR	60	0.6	Cim	30	7.8
59	TR	60	0.6	Chau	10	4.8
60	TR	60	0.6	Chau	30	5.8
61	TR	60	0.7	Cim	10	7.3
62	TR	60	0.7	Cim	30	8.3
63	TR	60	0.7	Chau	10	5.3
64	TR	60	0.7	chau	30	6.3

Tableau : de résultat terre rouge

A-diagramme de Pareto des effets pour la résistance:

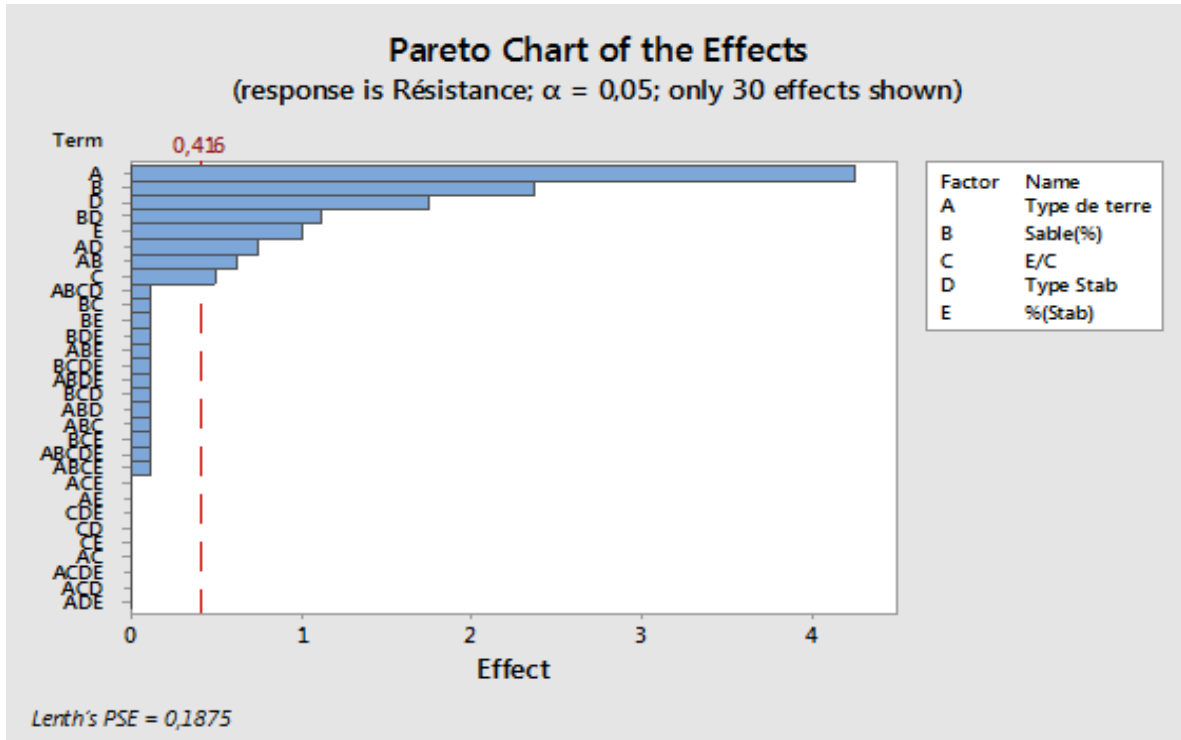


Fig1 :Diagramme des effets pour la résistance

Ce graphe montre que Les facteurs qui influents sur la résistance sont classés par ordre :

- type de terre. **(A)**.
- % de sable.**(B)**.
- Type de stabilisation **(D)**.
- L'interaction le %sable et type de stabilisation **(BD)**.
- le % stabilisation**(E)**.
- L'interaction le type de terre et type de stabilisation **(AD)** .
- L'interaction le type de terre et %de sable **(AB)**.
- Le rapport E/C **(C)**.

B-L'effet de chaque facteur pris individuellement sur la résistance:

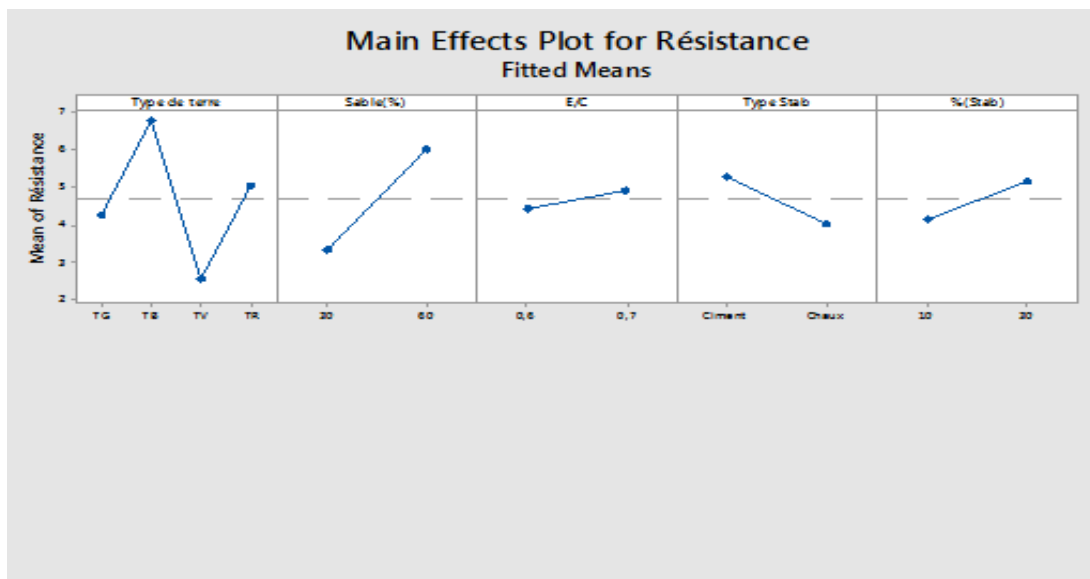


Fig2 :Graphique des effets des facteurs sur la résistance

- 1* Les terres rouges et grise ont une résistance moyenne. La terre blanc a une grande résistance. et la terre vert a une faible résistance.
- 2* La résistance diminue lorsque on utilise 30% de sable par rapport 60%
- 3*
- 4* la résistance augmentée lorsque on utilise le stabilisation ciment par rapport a la chaux
- 5* La résistance diminue lorsque on utilise 10% de stabilisation par rapport 30%

C . l'interaction des facteurs prise deux à deux sur la résistance

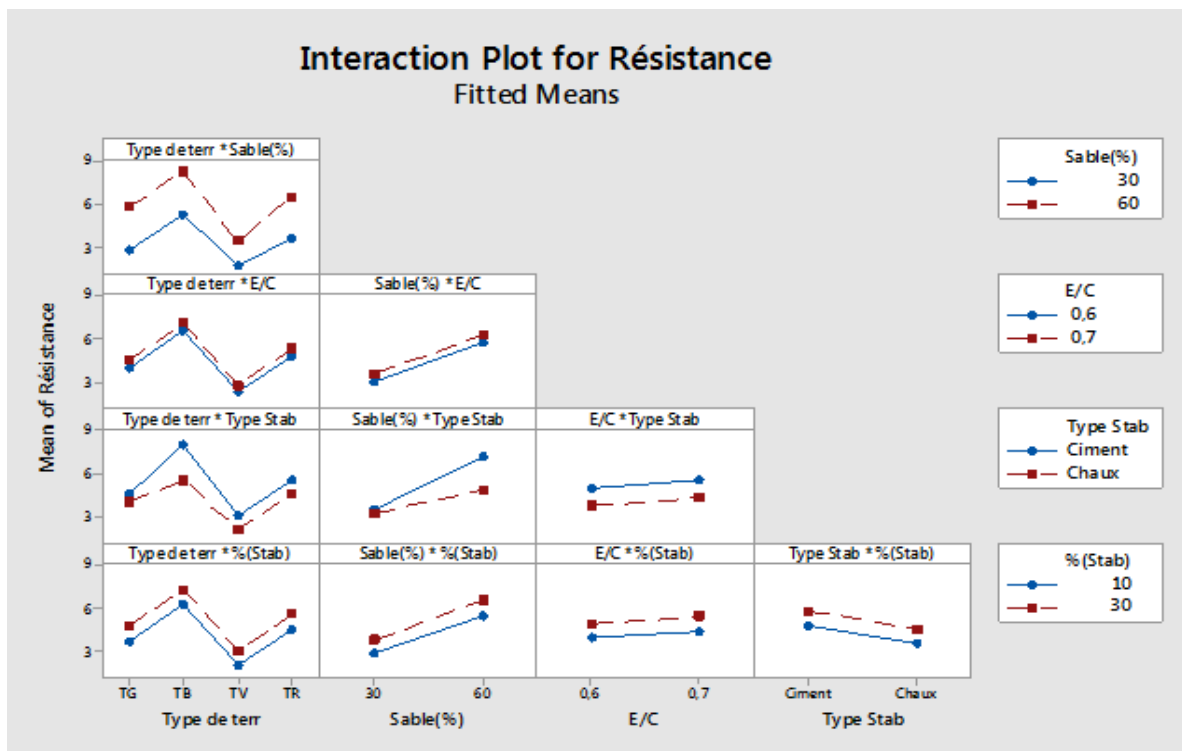


Fig3 :Graphique des facteurs prise deux à deux sur la résistance

1.Type de terre avec le % sable : les meilleures résistances obtenues pour TB à condition le sable (60%) .La mauvais résistances obtenues pour TV à condition le sable (30%)

2: les meilleures résistances obtenues pour TB à condition le E/C (0.6-0.7).
La mauvais résistances obtenues pour TV à condition le E/C (0.6-0.7)

3: les meilleures résistances obtenues pour le %sable (60%) à condition E/C
.La mauvais résistances obtenues pour le %sable (60%) à condition le E/c

4: les meilleures résistances obtenues pour TB à condition le stab (ciment)
La mauvais résistances obtenues pour TV à condition le stab(chaux)

5: les meilleures résistances obtenues pour le %sable (60%) à condition type de stab(cim) .La mauvais résistances obtenues pour le %sable (30) à condition le type de stab.

6 : les meilleures résistances obtenues pour E/C à condition le type stab (ciment) .La mauvais résistances obtenues pour E/C à condition le type de stab (chaux)

7 : les meilleures résistances obtenues pour TB à condition le stab (30-10%) .La mauvais résistances obtenues pour TV à condition le sable (10-30%)

8. les meilleures résistances obtenues pour le% sable(60) à condition le %stab (30%) .La mauvais résistances obtenues pour le% sable(30) à condition le %stab (10%)

9. : les meilleures résistances obtenues pour E/C à condition le % stab (30%) .La mauvais résistances obtenues pour E/C à condition le stab (10%)

10 : les meilleures résistances obtenues pour le type (ciment) à condition le stab (30%) .La mauvais résistances obtenues pour type stab (chaux) à condition le % stab (10.%)

D- La modélisation par une équation mathématique de l'ensemble des expériences effectués par une fonction qui lie la répons avec les différents facteurs et leurs interaction .

Equation de la résistance après simplification

$$\begin{aligned} \text{Résistance} = & 4,670 - 0,3891 \text{ Type de terre_TG} + 2,130 \text{ Type de terre_TB} \\ & - 2,120 \text{ Type de terre_TV} + 0,3797 \text{ Type de terre_TR} - 1,339 \text{ Sable(\%)_30} \\ & + 1,339 \text{ Sable(\%)_60} - 0,2453 \text{ E/C_0,6} + 0,2453 \text{ E/C_0,7} \\ & + 0,6297 \text{ Type Stab_Ciment} - 0,6297 \text{ Type Stab_Chaux} - \\ & 0,5047 \text{ \% (Stab)_10} + 0,5047 \text{ \% (Stab)_30} \end{aligned}$$

Ex1: TB; Sab60%; E/C0.7 ;stab ciment 30%

$$\begin{aligned} \text{Résistance} = & 4,670 - 0,3891 \text{ Type de terre_TG} + 2,130 \text{ Type de terre_TB} (1) \\ & - 2,120 \text{ Type de terre_TV} (0) + 0,3797 \text{ Type de terre_TR}(0) - \\ & (0) 1,339 \text{ Sable(\%)_30}(0) \\ & + 1,339 \text{ Sable(\%)_60}(1) - 0,2453 \text{ E/C_0,6}(0) + 0,2453 \text{ E/C_0,7}(1) \\ & + 0,6297 \text{ Type Stab_Ciment}(1) - 0,6297 \text{ Type Stab_Chaux}(0) - \\ & 0,5047 \text{ \% (Stab)_10}(0) + 0,5047 \text{ \% (Stab)_30}(1) \end{aligned}$$

$$\text{Résistance} = 4,670 + 2,130 + 1,339 + 0,2453 + 0,6297 + 0,5047 = 9.5187$$

La meilleure résistance

Ex2: TR; Sab30%; E/C0.7 ;stab ciment 10%

$$\begin{aligned} \text{Résistance} &= 4,670 - 0,3891 \text{ Type de terre_TG} + 2,130 \text{ Type de terre_TB (0)} \\ &- 2,120 \text{ Type de terre_TV (0)} + 0,3797 \text{ Type de terre_TR(1)} - \\ &\quad 1,339 \text{ Sable(\%)_30(1)} \\ &\quad + 1,339 \text{ Sable(\%)_60(0)} - 0,2453 \text{ E/C_0,6(1)} + 0,2453 \text{ E/C_0,7(0)} \\ &+ 0,6297 \text{ Type Stab_Ciment(0)} - 0,6297 \text{ Type Stab_Chaux(1)} - \\ &\quad 0,5047 \%(\text{Stab})_{10(1)} + 0,5047 \%(\text{Stab})_{30(0)} \\ \text{Résistance} &= 4,670 + 0,3797 + 0,2453 - 0,6297 - 1,339 - 0,5047 = 2.8216 \\ &\text{faible résistance} \end{aligned}$$

Conclusion :

Des nombreux essais par plans d'expériences , nous permettent d'avancer certaines idées sur la stabilisation de mortier par le ciment et la chaux avec le sable. Les résultats obtenus ont montré que la stabilisation au ciment donne les meilleurs résultats en résistance par rapport à la chaux. Avec la terre blanc.

La stabilisation dépend de plusieurs paramètres dont les plus importants sont :

- *la nature de terre .
- *% de stabilisation.
- * % de sable .

Conclusion Générale

Conclusion générale :

La terre crue est utilisée dans la construction depuis les temps les plus reculés, comme en témoigne l'habitat traditionnel en de nombreux points de notre planète, vu son intérêt économique et sa facilité d'exploitation. Après avoir été abandonnée et oubliée avec l'avènement des matériaux de construction industriels, en particulier le béton et l'acier, elle fait aujourd'hui l'objet d'un regain d'intérêt dans les pays en développement comme dans les pays industrialisés.

Pour valoriser les matériaux et les savoir-faire locaux, Des blocs de terre sont réalisés après stabilisation par le ciment et la chaux.

La stabilisation au ciment améliore considérablement la résistance mécanique

L'objectif est d'aboutir à la fabrication d'un mortier de terre possédant une bonne résistance à la compression et à la flexion.

La méthode expérimentale se base sur le choix des facteurs appropriées au chercheur.

Les résultats des études ou les réponses seront lus à travers logiciel Mini tab, ils seront donnés sous formes des graphes et des figures bien explicites.

Les interactions des facteurs se traduisent à travers des graphes.

Les connaissances que nous avons acquises grâce à cette étude:

De la bibliographie. L'architecture en terre conserve les logements, soulage la pression sur les résidents et ne nécessite pas d'équipement encombrant pour la construction

* Le choix du type de terre est important dans la fabrication d'un mortier de terre

*Savoir formuler et à fabriquer des mortiers résistants à diverses conditions mécaniques et environnementales

*savoir identifier les facteurs qui affectent la résistance et la durabilité du mortier de terre

*savoir analyser, résumer et modéliser les résultats à l'aide de la méthodologie de conception expérimentale

*savoir utiliser les machines et équipements de laboratoire.

Ce travail expérimentale de mémoire de fin d'étude nous qualifie pour le travail sur le terrain et pour la vie professionnelle dans le domaine des contrôle des matériaux en génie civil

Références bibliographiques

Abhilash Holur Narayanaswamy a, P. W. (2020). Construction and Building Materials.

C. Egenti [†], J. K. (Received 25 December 2013; accepted 20 May 2014).
Conceptualisation and pilot study of shelled compressed earth block.

Cheikh Omar Tidjani CISSE *, S. A. (2019). Caractéristiques
sédimentologiques des plages du littoral de Rufisque,.

(2019). cour de pr .naceri.A.

FLAMENT, C. (12.12.2013). VALORISATION DES FINES DE LAVAGE DE
GRANULATS : APPLICATION A LA CONSTRUCTION EN TERRE
CRUE.

Hanane, M. (2018/2019). pfe ,Caractérisation Mécanique de la Brique de Terre
Comprimée et Stabilisée(BTCS) sous l'effet des efforts de Compression
et de Flexion.

Haytam Tribak, P. (2020). Etude Géotechnique Des Sols Compressibles .
Maroc: European Scientific Journal March 2020 edition Vol.16, No.9
ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

(s.d.). https://fr.wikipedia.org/wiki/Mortier_de_terre.

(s.d.). https://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_crue.

(s.d.).

https://www.google.com/search?q=historique+sur+mortier+de+terre&client=firefox-b-d&sxsrf=ALeKk01lITaFGJcJkqKwLafpKwWBAC8XGg:1597410374111&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjJ76Kv4ZrrAhWRURUIHbGPAJMQ_AUoAnoECA0QBA&biw=1130&bih=642#imgrc=7SuPXfdcJs-y5M&i.

(s.d.).

https://www.google.com/search?q=historique+sur+mortier+de+terre&client=firefox-b-d&sxsrf=ALeKk01lITaFGJcJkqKwLafpKwWBAC8XGg:1597410374111&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjJ76Kv4ZrrAhWRURUIHbGPAJMQ_AUoAnoECA0QBA&biw=1130&bih=642#imgrc=-jSZnpg_mvpgbM.

(s.d.).

https://www.google.com/search?q=historique+sur+mortier+de+terre&client=firefox-b-d&sxsrf=ALeKk01lITaFGJcJkqKwLafpKwWBAC8XGg:1597410374111&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjJ76Kv4ZrrAhWRURUIHbGPAJMQ_AUoAnoECA0QBA&biw=1130&bih=642#imgrc=-jSZnpg_mvpgbM.

nt=firefox-b-
d&sxsrf=ALeKk01lITaFGJcJkqKwLafpKwWBAC8XGg:159741037411
1&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjJ76Kv4ZrrAhWRUR
UIHbGPAJMQ_AUoAnoECA0QBA&biw=1130&bih=642#imgrc=sIkqz
GJ7V6WumM&i.

Hubert Guilaud, T. j.-E. (1995). BLocs de terre comprimée.

Narcisse MALANDA1, P. L.-K.-N. (Received May 2017 – Accepted October 2017). Etude des caractéristiques mécaniques d'une brique en.

OUEDRAOGO, K. A. (21 Novembre 2019). Stabilisation de matériaux de construction durables et.

OUEDRAOGO, K. A. (21 novembre 2019). Stabilisation de matériaux de construction durables .

Pr. Bencheikh, C. (s.d.). La méthode des plans d'expériences.

Tinsson, W. ((2010).). Plans d'expérience: constructions et analyses statiques.