



بسم الله الرحمن الرحيم
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Univercité de Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Année : 2022 / 2023

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'option du diplôme de Master M2
en Génie Civil , Option : Matériaux en Génie Civil

THEME

**ELABORATION D'UN MATERIAU A BASE DE TERRE CRUE POUR
LE DEVELOPPMENT ENERGETIQUE**



Dirigé par :

Pr. Bencheikh Mohamed



Etudié par :

Tallai Bayzid

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. Amriou Abderrachid

Université M'sila Président .

Pr. Bencheikh Mohamed

Université M'sila Rapporteur.

Dr. Belouadeh Messaouda

Université M'sila Examineur

Dr. Djeriou Ali Université M'sila

Représentant de l'incubateur .

Mr. Mohamed Chicouche Djamel

Partenaire socio-économique

Promotion : juillet 2023



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents , mes chers frères et sœurs , ma cher conjoint , mes chers enfants Lina et Abd Ennor ainsi qu'à toute ma famille .

A tous mes amis ainsi qu'à tous mes collègues au l'Université de Mohamed Boudiaf à M'sila et tous qui s'est présenté à notre soutenance .

REMERCIEMENT

Nous remercions le dieu qui nous a donné le pouvoir et nous a aidé a terminer avec succès ce modeste travail .Nous tenons à remercier vivement notre promoteur Pr. Bencheikh Mohamed qui a consacré son précieux temps sans ménager d'efforts pour nous prêter aide et assistance durant les moments difficiles. Nous tenons à remercier l'ingénieure de laboratoire de développement Géo matériaux , université de M'sila. Nous tenons à remercier vivement : Nos professeurs sans oublier nos amis , Le directeur et tous les responsables de la Département de Génie Civil. Mes remerciements vont également vers Tous les membres de jury et tous qui s'est présenté à notre soutenance

Bayzid Tallai , Khoubana

ملخص

يهدف عملنا إلى إيجاد مواد بناء بيئية واقتصادية (ملاط) يمكن استخدامها في تشييد المباني الصديقة للبيئة. هذا الملاط مصنوع من التربة الخام ، وهي مادة وفيرة ومتوفرة بسهولة. يتم تقويته بألياف طبيعية مثل القش أو الصوف لزيادة قوته ومثابته و جانب الطاقة.

الملاط الأرضي الخام له فوائد بيئية لأنه قابل للتحلل البيولوجي وقابل لإعادة التدوير وموفر للطاقة. كما أنه مفيد للصحة حيث أنه غير سام ولا يسبب تهيجا في الجهاز التنفسي . بالإضافة إلى ذلك ، فهي تتمتع بخصائص عزل حراري ممتازة ، مما يعني أنها يمكن أن تساعد في تقليل تكاليف التدفئة والتبريد للمباني .

باختصار ، البحث في الملاط الأرضي لتطوير الطاقة هو محاولة للعثور على مواد بناء بيئية واقتصادية وصحية ومستدامة ، والتي يمكن استخدامها لبناء المباني التي تلبى المتطلبات المعاصرة من حيث حماية البيئة. توفير الطاقة واحترام بيئة. [1]

الكلمات المفتاحية

تطوير الطاقة ، علم الطاقة ، المواد ذات المصادر الحيوية ، المواد ذات المصادر الجغرافية ، الملاط ، الطلاء ، الجص ، الأرض ، الطين ، الأرض الخام ، طوب الأرض الخام .

Résumé

Notre travail vise à trouver un matériau de construction (mortier) écologique et économique qui peut être utilisé dans la construction de bâtiments respectueux de l'environnement. Ce mortier est fabriqué à partir de terre crue , qui est un matériau abondant et facilement disponible. Il est renforcé par des fibres naturelles telles que la paille ou la laine pour augmenter sa résistance ,sa durabilité et son aspect énergétique.

Le mortier à base de terre crue a des avantages environnementaux car il est biodégradable , recyclable et peu énergivore. Il est également bon pour la santé car il est non toxique et n'irrite pas les voies respiratoires. De plus il possède d'excellentes propriétés isolantes thermiques, ce qui signifie qu'il peut aider à réduire les coûts de chauffage et de refroidissement des bâtiments

En résumé , la recherche sur un mortier à base de terre crue pour le développement énergétique est une tentative de trouver un matériau de construction écologique, économique , sain et durable , qui peut être utilisé pour construire des bâtiments qui répondent aux exigences contemporaines en termes d'économie d'énergie et de respect de l'environnement. [1].

Mots clés

Développement énergétique , isolation thermique , Matériaux bio-sources , Matériaux géo-sources , Mortier , Revêtement , Enduit , Terre , Argile , Terre crue , Briques de terre crue .

ABSTRACT

Our work aims to find an ecological and economical building material (mortar) that can be used in the construction of environmentally friendly buildings. This mortar is made from raw earth, which is an abundant and readily available material. It is reinforced with natural fibers such as straw or wool to increase its strength, durability and energy aspect.

Raw earth-based mortar has environmental benefits as it is biodegradable, recyclable and energy efficient. It is also good for your health as it is non-toxic and does not irritate the respiratory tract. In addition it has excellent thermal insulating properties, which means that it can help reduce the heating and cooling costs of buildings

In summary, research on earth-based mortar for energy development is an attempt to find an ecological, economical, healthy and sustainable building material, which can be used to construct buildings that meet contemporary requirements in terms of environmental protection. saving energy and respecting the environment.

KEYWORDS

Développement Energetiques , Biosourced materials , Geosourced materials , Mortar , Coating, Plaster , Earth , Clay , Raw earth , Earth bricks.

Tableaux des matières

Dédicace	
Remerciements	
ملخص.....	
Résumé.....	
Abstract.....	
Tableaux des matières.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Liste des.....	
abréviations.....	
Introduction générale :.....	1

CHAPITRE I : « ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET PRESENTATION »

I.1. Composition de la terre.....	4
I.1.1. Classification des grains :.....	4
I.1.2 Avantages de la terre crue :.....	5
a- Économiques :.....	5
b - Écologiques :.....	5
c - Disponibilité :.....	5
d - Confort : :.....	5
e - Qualité architecturale :.....	5
I .2 - Rappel sur les argiles :.....	5
I .2.1 Définition des argiles:.....	6
I .2.2- Principaux types d'argiles :.....	6
a - La kaolinite :.....	6
b - La montmorillonite:.....	8
c - L'illite :.....	9

CHAPITRE II :

« MATERIAUX DE L'ETUDE ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES »

II.1 .Introduction :.....	11
II.2-Méthodologies expérimental :	11
II.2.1-Introduction :.....	11
II.2.2 - Organigramme :.....	12
II.2.3 - Moyens et matériaux :.....	13
II.2.3.1 – Équipements :.....	14

II.2.3.2 – Matériaux :	14
1 – Terre blanche du laboratoire	15
2 – Terre grise du laboratoire	15
3 – Terre verte du laboratoire	15
4 – Terre rouge / Echaâba Elhamra	15
5.– Tuf.....	15
5.1- Utilisations des tufs calcaires	16
5.2 - Les tufs calcaires en Algérie :	16
6 - Sable de dunes (V.S.A Khoubana) :	16
7 - Ciment	17
8 - L'eau de gâchage :	18
II.3- Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051) :	18
II.3.1 Composition minéralogique (DRX) :	20
II.3.2 - Expression des résultats :	22
II.3.3 - Expérimentations préliminaires :	24
II.3.4 - Conclusion :	26
II.4 - Matériaux d'isolation (NF EN ISO 13789) :	26
II.4.1 - La laine de verre :	26
II.4.2 - Impact sur l'environnement :	28
II.4.3 - laine de roche :	28
II.4.4 - Protection incendie :	29
II.4.5 - Effets sur la santé :	29
II.4.6 – Laine :	30
II.4.6.1 - Caractéristiques textiles :	32
II.4.7 - copeaux du bois ::	32
II.4 - Analyse granulométrique (NF P 18-560) :	33
II.4.1- Analyses granulométrique par tamisage (voie sèche) :	33
II.4.2 - Analyse granulométrique du Sable Fin :	35
II.4.3 - Analyse granulométrique de terre Blanche :	36
II.4.4- Analyse granulométrique de terre Grise :	38
II.4.5 - Analyse granulométrique de terre Verte :	39
II.4.6 - Analyse granulométrique de terre rouge :	41
II.4.7- Analyse granulométrique du Tuf :	42

CHAPITRE III :
« METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES »

III .1- Plans d'expériences :	46
III .1.1- Introduction :	46
III .1.2 - Choix de la méthode d'expérimentation :	46
III .1.3 - Méthodologie des plans avec contrainte :	46
III .1.4 - Les différents types de facteurs utilisés :	47

CHAPITRE IV :
« ELABORATION D'UN MODELE EXPERIMENTAL »

IV.1 - Introduction :.....	49
IV.2 - Confection des échantillons :.....	49
IV.2 .1 - Introduction :.....	49
IV.2.2 - Préparation des échantillons :.....	49
IV.2.2.1 - Etapes de préparation :.....	49
IV.2.2.2 - Préparation du mélange :.....	50
IV.3 - Essai de compression (la norme P 18-406) :.....	52
IV.3.1: Résistance $\bar{\sigma}$ (MP).....	54
IV.3.2 - Plan factoriel à plusieurs niveaux :.....	62
IV.3.3 - Informations sur les facteurs :.....	62
IV.3.4 - Analyse de variance :.....	62
IV.3.5 - Récapitulatif du modèle :.....	62
IV.3.6 - Coefficients :.....	63
IV.3.7 - Equation de régression :.....	64
IV.3.8- Remarques :.....	69
IV.4 - Préparation d'un mélange :.....	70
IV.4.1 - Introduction :.....	70
IV.4.2 - Type de mélange :.....	70
IV.4.3 - Régression factorielle générale :.....	72
IV.4.3.1- Informations sur les facteurs :.....	72
IV.4.3.2- Analyse de variance :.....	72
IV.4.3.3- Récapitulatif du modèle :.....	72
IV.4.3.4- Coefficients :.....	72
IV.4.3.5- Equation de régression :.....	72
IV.5 - Essai de compression (la norme P 18-406) :.....	76
IV.5. 1- Conclusion :.....	80

CHAPITRE V :
**« ISOLATION THERMIQUE ET ELABORATION D'UN MODELE
EXPERIMENTAL »**

V- Isolation thermique :.....	82
V.1- introduction :.....	82
V.2 - Définition de l'isolation thermique :.....	83
V.3- Définition d'isolant thermique :.....	83
V.4- les éléments à isoler :.....	84

V.5- matériaux et normes :.....	84
V.2 - Modes expérimentales : :.....	84
V.2.1- Introduction : :.....	84
V.2.2 - Confection des échantillons :.....	85
V.3 - l'élévation de la température.....	87
V.3.1- Modes expérimentales : :.....	88
V.3.2- Introduction :.....	88
V.4 – Perte du chaleur :.....	92
V.5 – Discussion (comparaison) :.....	96

CHAPITRE VI :
« DURABILITÉ ET RÉSISTANCE »

VI. – Durabilité et résistance :.....	99
VI.1- introduction	99
VI.2 - Durabilité:.....	99
VI.3 - matériaux et normes :.....	100
VI.3.1- Normes :.....	99
VI.3.2- Équipement.....	99
VI.3.3- matériaux.....	99
VI.3.3.1- Vernis aqueux :.....	101
VI.4 - Modes expérimentales :.....	101
VI.4.1- Introduction :.....	101
VI.4.2 - Confection des échantillons :.....	102
Discussion (comparaison) :	103
Conclusion général	105
Bibliographie :.....	106

Liste des figures

CHAPITRE I :
« ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET PRESENTATION

Figure N° I.1 : Classification des grains.....	04.
Figure I.2 : Schéma de la structure de la kaolinite, (d'après Lambe, 1953).....	07
Figure I.3 : Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite , (Grim ,1986).07	
Figure I.4 : Schéma de la structure la montmorillonite (d'après Lambe, 1953).....	08
Figure I.5 : Structure de la montmorillonite (Reinholdt, 2001)).....	09

CHAPITRE II :

« MATERIAUX DE L'ETUDE ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES »

Figure II.1: équipements et moyens.....	13
Figure II.2 : types de terre utilisés.....	14
Figure II.3 Tuf (V.S.A Khoubana , M'sila).....	15
Figure II.4 Sable des dunes (V.S.A Khoubana , M'sila).....	16
Figure II.5 : Les deux types de ciment utilisé.....	17
Figure II.6 : Présentation des limites d'Atterberg.....	18
Figure II.7 : Limite de plasticité au rouleau	19
Figure II.8 : Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande	19
Figure II.9 : Diagramme de Casagrande.....	19
Figure II.10 : appareillage Diffractomètre.....	20
Figure. II.11 : Etapes de l'essai de limite de liquidité.....	21
Figure. II.12 : limite de liquidité de Tuf.....	22
Figure. II.13 : limite de liquidité de sable des dunes.....	23
Figure. II.14 : Tuf et sable des dunes (V.S.A Khoubana , M'sila).....	23
Figure. II.15 : Quelques étapes d'expériences préliminaires (la terre brut).....	24
Figure. II.16 : Schéma d'une des expériences de contraintes mécaniques sur la terre crue.....	25
Figure. II.17 : Laine de verre.....	26
Figure. II.18 : Laine de verre utilisée.....	27
Figure. II.19 : Laine de roche utilisée.....	29
Figure. II.20 : Laine.....	31
Figure. II.21 : Laine utilisée	31
Figure. II.22: Production de laine (L'algérie : 34.718 t en 2019).....	32
Figure. II.23 : Copeaux du bois utilisée.....	32
Figure. II.24 : Terre brute de laboratoire	33
Figure. II.25 : tamiseuse électromécanique modèle 15-D0410, 15-D0410/A.....	34
Figure. II.26 : Courbe granulométrique du Sable fin.....	36
Figure. II.27 : Courbe granulométrique de Terre Blanche	37
Figure. II.28 : Courbe granulométrique de Terre Grise.....	39
Figure. II.29 : Courbe granulométrique de Terre Verte	40
Figure. II.30: Courbe granulométrique de Terre Rouge	42
Figure. II.31 : Courbe granulométrique du Tuf.....	43
Figure. II.32 : Courbe granulométrique des différents types de terre.....	44

CHAPITRE III :

« METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES »

Figure. III.1 : différents types de Terre.....	47
------------------------------------------------	----

CHAPITRE IV :

« ELABORATION D'UN MODELE EXPERIMENTAL »

Figure. IV.1. type de mélange.....	50
Figure IV.2 : Presse hydraulique pour l'essai de compression.....	53
Figure IV.3 : Courbes de la résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 10 %).....	55
Figure IV.4 : Courbes de la résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 20 %).....	57
Figure IV.5 : un type de mélange	58
Figure IV.6 : Courbes de la résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 30 %).....	59
Figure IV.7 : Résistance d'u mélange de Tuf et différents dosage en ciment 10, 20 et 30%.....	59
Figure IV.8 : Résistance d'un mélange de Terre Rouge avec différents dosage en ciment 10 , 20 et 30 %.....	60
Figure IV.9 : Quelques essais de la compression.....	60
Figure IV.10 : Courbes comparatifs du Tuf et de T/Rouge avec Ciment Gris de 10,20 et 30 %.....	61
Figure IV.11 : Diagramme de Pareto des effets normalisés (ciment gris).....	66
Figure IV.12 : Graphique des effets principaux pour Résistance (ciment gris).....	66
Figure IV.13 : Diagramme des interactions pour Résistance (ciment gris)	67
Figure IV.14 : Graphique de contour de %Ciment et Résistance ; %Sable (c/ g)....	67
Figure IV.15 : Nuage de points en 3D de Résistance , %Ciment et %Sable (c/ g)..	68
Figure IV.16 : Diagramme de surface de Résistance et %Ciment ; %Sable (c/ g)..	68
Figure IV.17 : Graphique des effets principaux pour Résistance (ciment blanc).....	75
Figure IV.18 : Diagramme des interactions pour Résistance (ciment blanc).....	75
Figure IV.19 : Résistance \bar{b} (MP) (Sable 75 % , Ciment Blanc 10 %).....	77
Figure IV.20 : Résistance \bar{b} (MP) (Sable 75 % , Ciment Blanc 20 %).....	78
Figure IV.21 : Résistance \bar{b} (MP) (Sable 75 % , Ciment Blanc 30 %).....	79
Figure IV.22 : Courbe de quelques essais de la compression mécanique (2).....	79

CHAPITRE V :

« ISOLATION THERMIQUE ET ELABORATION D'UN MODELE EXPERIMENTAL »

Figure V.1: Echantillons utilisés (cubes remplis d'épaisseur de 10 cm).....	86
Figure V.2 : Boîtes expérimentales (Brique rouge).....	87
Figure V.3 : Boîtes expérimentales (Brique rouge enduit):.....	87
Figure V.4 : Changement de Température en fonction du temps de déférant types de terre et épaisseur de transfère de 15 cm.....	89
Figure V.5 : Changement de Température en fonction du temps de brique rouge avant et après revêtement avec la laine de roche.....	89

Figure V.6 : Changement de Température en fonction du temps , Tuf avec et sans aditif (laine de roche) d'épaisseur de transfère 15 cm.....	90
Figure V.7 : Changement de Température en fonction du temps a déferant aditif et d'épaisseur de transfère de 10 cm.....	91
Figure V.8 : Cubes et Boîtes expérimentales (Tuf , Terre Rouge , Brique rouge et Brique rouge enduit.....	92
Figure V.9 : Pert de Température en fonction du tems de différentes types de terre.....	93
Figure V.10 : Cubes et Boîtes expérimentales (Tuf , Terre Rouge , Brique rouge et Brique rouge revêté).....	93
Figure V.11:Cubes expérimentales ,Tuf avec et sans aditif d'épaisseur 10 ,15.....	94
Figure V.12 : Pert de température en fonction du temps , Tuf avec et sans aditifs (épaisseur de 15 cm).....	95
Figure V.13 : Pert de température en fonction du temps , laine (1%) + Laine de verre (2%) (E=10 cm)et Tuf avec coupeaux du bois (épaisseur de 10 cm).....	96

CHAPITRE VI :

« DURABILITÉ ET RÉSISTANCE »

Figure VI.1 : Echantillons démolis par les fuites d'eau de pluie.....	99
Figure VI.2 : Equipments utilizes.....	100
Figure VI.3 : l'une des étapes de l'expérience.....	101
Figure VI.4 : Le nouveau matériau qui en résulte.....	102
Figure VI.5 : Le nouveau matériau avant l'expérience d'absorption d'eaux.....	102
Figure VI.6 : Le nouveau matériau du coulage à l'tape d' absorbation d'eaux.....	103
Figure VI.7 : les types de Terre brute utilisés.	103

Liste des tableaux

CHAPITRE II :

« MATERIAUX DE L'ETUDE ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES »

Tableau II.1 : Les résultats obtenus par l'essai de la limite d'Atterberg pour les trois types des argiles.....	19
Tableau II.2 : Composition minéralogique des échantillons (%).....	20
Tableau II.3 : Composition minéralogique des échantillons (%).....	21
Tableau II.4 : Valeurs de Limites d'Atterberg du tuf et sable de dunes.....	22
Tableau II.5 : Analyse granulométrique du sable fin.....	35
Tableau II.6 : Analyse granulométrique terre blanche.....	37
Tableau II.7: Analyse granulométrique terre grise.....	38
Tableau II.8: Analyse granulométrique terre verte.....	40
Tableau II.9: Analyse granulométrique de terre Rouge.....	41
Tableau II.10 : Analyse granulométrique du Tuf.....	43

CHAPITRE VI :

« METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES »

Tableau VI.1 : Types des mélanges.....	52
Tableau VI.2 : Résistance \bar{b} (MP) du terre crue brute (Ciment gris 0 %).....	54
Tableau VI.3 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 10 %).....	55
Tableau VI.4 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 20 %).....	56
Tableau VI.5: Résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 30 %).....	58
Tableau VI.6 : Tableaux comparatif.....	69
Tableau VI.7 : Types des mélanges (ciment blanc).....	71
Tableau VI.8 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment Blanc 10 %).....	76
Tableau VI.9 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment Blanc 20 %).....	77
Tableau VI.10 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment Blanc 30 %).....	78

CHAPITRE V :

« ISOLATION THERMIQUE ET ELABORATION D'UN MODELE EXPERIMENTAL »

Tableau V.1 : l'élévation de la température , Tuf (10 cm) ,Terre Rouge (10 cm) , Brique et Brique enduit.....	88
Tableau V.2 : l'élévation de la température, Tuf (15 cm) ,Terre Rouge avec (5 %) de la laine de roche (15 cm) , Brique et Brique enduit	90
Tableau V.3 : l'élévation de la température , Tuf (laine (1%) + Laine de verre (2%) , copeaux de bois (5%) , (5 %) de la laine de roche (E=10 cm).....	91
Tableau V.4 : Pert du Chaleur , Tuf (10cm) ,Terre Rouge (10 cm) , Brique enduit..	92
Tableau V.5 : Pert du Chaleur , Tuf (15 cm) ,Tuf de la laine de roche (10 , 15 cm)..	94
Tableau V.6 : Pert du Chaleur ,Tuf et la laine de roche (10 cm) , Tuf et copeaux de bois (10 cm).....	95

List des Abréviations

- V.S.A.Khoubana : Village Socialiste Agriculaire.
- Ch / Tem : Changement de Température
- T (10) : Tuf de épaisseur de 10 cm (E=10 cm)
- T (15) : Tuf de épaisseur de 15 cm (E=15 cm)
- R (10) : Terre Rouge de épaisseur de 10 cm (E=10 cm)
- B : Brique Rouge (20,00*32,00*41)
- B.l : Brique Rouge +Laine de roche (22,5*34,50*43,5)
- T.Cb (5%),(10) : Tuf + copeaux de bois (5%) (E=10 cm)
- T.l(5%),(10) : Tuf+Laine de roche (5%) (E=10 cm)
- T.l.v,(10) : Tuf + laine (1%) + Laine de verre (2%) (E=10 cm)
- T.l(5%),(15) : Tuf+Laine de roche (5 %) (E=15 cm)

INTRODUCTION GÉNÉRAL

Introduction :

" Il existe aujourd'hui une demande de plus en plus importante pour des constructions écologiques en terre crue avec en parallèle des gens qui ont la volonté , le savoir-faire et les matériaux pour répondre à ces demandes (maçons, architectes et briquetiers) mais qui ne peuvent les satisfaire essentiellement pour des questions d'assurabilité liées à l'absence de reconnaissance et de caractérisation de ces matériaux ." [2]

A cet égard , et en attendant d'établir des normes d'utilisation de la terre crue et de lever les restrictions d'assurabilité , nous essayons dans cette recherche de trouver des moyens d'améliorer l'efficacité énergétique de certains matériaux sur la base d'un revêtement durable avec des matériaux de terre crue et des matériaux locaux des sources biologiques et géographiques , et grâce à cet humble travail et Sous les orientation et le soutien du Pr. Ben cheikh Mohamed nous cherchons à atteindre la plus grande quantité d'économie d'énergie et à développer la capacité de la terre crue à isoler thermiquement , en utilisant des matériaux naturels respectueux de l'environnement d'origine minéraux , végétale ou animale (des matériaux Biosourcés et Géosourcées) .

Il convient de rappeler que le critère initiale est l'obtention d'un mélange maniable et une masse volumique relativement forte , avec la nécessité garantir des résistances mécanique maximales et économie d'énergie raisonnable. Sur cette base , nous procédons un Plan de travaille comme suit :

Un premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique , en vue de donner un aperçu général sur les techniques de construction en terre , les différents matériaux utilisés , et les critères de choix de terre et les différents modes de stabilisation et économie énergétique. Le deuxième chapitre concerne l'ensemble des méthodes et techniques utilisées ainsi que les matériels et les moyens , mis en oeuvre et les essais d'identification des matériaux . Le troisième chapitre nous avons

présentés de petite présentation sur le plan d'expérience et une définition des logiciels utilisés dans notre recherche « Minitab et Excel ». Le quatrième chapitre présente les essais réalisés (choix du matériaux) , il présente aussi les mélanges , les procédures de confection des éprouvettes , résistance et les diagrammes de l'étude expérimentale a l'utilisation du plan d'expérience et de l'Excel. Cinquième chapitre présente les essais réalisés a l'utilisation des aditifs (transfère de chaleur) , il présente aussi les mélanges et les procédures de confection des échantillons , le changement du température et les diagrammes de l'étude expérimentale par Excel. Les résultats et les discussions de l'étude expérimentale sont donnés dans le sixième chapitre , nous passons à la durabilité et à la résistance à l'eau des terre bruts en particulier. Enfin la conclusion générale est la synthèse des résultats obtenus aux chapitres précédents ainsi que les recommandations.

CHAPITRE I :
« ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET
PRESENTATION »

I.1. Composition de la terre :

I.1.1. Classification des grains :

La terre est un mélange composé de différentes tailles de grains. Chaque taille de grain porte un nom spécifique « voir le tableau ». Une confusion courante est de confondre la terre avec l'argile, alors que cette dernière n'est que la partie la plus fine de la terre.

	TAILLE
Cailloux	entre 20 cm et 2 cm
Graviers	entre 2 cm et 2 mm
Sables	entre 2 mm et 60 μm
Silts	entre 60 μm et 2 μm
Argiles	au-dessous de 2 μm

Figure N° I.1 : Classification des grains

La variation de proportion de chaque composant d'une terre à une autre lui donne différentes propriétés physiques et chimiques. Elle détermine l'usage de la terre et de la technique de construction qui est la plus adéquate. Les cailloux, les graviers, les sables, les silts sont essentiellement constitués de fragments de roches sphériques. La seule différence entre les quatre composants réside dans leur taille, ainsi les silts ne sont que du sable très fins. Les argiles sont une exception à la règle, par sa taille et ses caractéristiques. Elles sont invisibles à l'oeil nu et mélangées à l'eau, on obtient une substance de couleur uniforme semblable à une « colle ». ENSAPM – Département Transitions – Séminaire de recherche – Année 2016-2017 . [3].

I .I.2 Avantages de la terre crue :

a - Économiques :

- Réduction de la fuite des devises par une diminution des matériaux importés (ciment, acier et bois)
- une production manuelle à haute intensité de main d'oeuvre qui favorise l'économie locale.

b - Écologiques :

- réduction d'émission de CO₂, dont 5% de l'émission mondiale provient de la production de ciment.
- réduction importante d'énergie consommée pour le transport du matériau de construction.

c - Disponibilité :

- la terre est disponible en quantités quasiment illimitées dans la plupart des régions.
- production possible de l'échelle artisanale à l'échelle industrielle , possibilité de produire directement sur le chantier.

d - Confort :

- atténuation de l'amplitude et de la rapidité des variations climatiques à l'intérieur des bâtiments, grâce à une grande inertie thermique.
- autorégulation du taux d'humidité à l'intérieur des réalisations grâce aux matériaux

e - Qualité architecturale :

- produits aux dimensions standardisées, modulaires, réguliers et précis.
- permet la réalisation des architectures aux murs apparents [4].

I .2 - Rappel sur les argiles :

Les argiles sont des minéraux issus de la décomposition de roches. Il s'agit de matériaux hétérogènes à différentes échelles. A l'échelle macroscopique, elles sont souvent associées à d'autres minéraux (quartz, feldspath...). A l'échelle microscopique, elles présentent une Structure en feuil et. Il est important de prendre en compte la nature physico-chimique des argiles, du fait que leur comportement rhéologique est gouverné par les interactions entre les feuillets argileux. Dans cette partie et pour définir cette nature physico-chimique, on présente la caractérisation minéralogique des différents niveaux d'organisation qui constituent les argiles [5].

I .2.1- Définition des argiles:

Il n'y a pas de définition universelle du terme « argile ». En effet , il en existe autant que de disciplines. Elles se fondent sur les propriétés physiques étudiées , comme par exemple la plasticité , sur l'emploi qui en est fait ou encore sur la structure cristallographique. L'argile à l'état naturel est rarement composée d'un seul minéral. Ainsi elle correspond souvent à un mélange de phyllo silicates ; le minéral majoritaire lui donne alors son nom. Il y a de plus de nombreux minéraux associés comme les carbonates (dolomite , diobertite , calcite , aragonite) , la silice (quartz , cristobalite , tridymite) , des oxydes et hydroxydes d'aluminium (corindon , gibbsite , diaspore ...) ou encore des minéraux ferrifères (lépidocrocite , maghémite...). Le terme argile désigne donc un mélange de minéraux argileux associés à d'autres minéraux (feldspaths , quartz etc.) ainsi que des impuretés (oxyde de fer , titane etc.). Par ailleurs ce mélange est caractérisé par une certaine plasticité et des grains ayant une taille inférieure à 2 μm [6].

I .2.2- Principaux types d'argiles :

Il existe plusieurs familles d'argiles qui rassemblent des dizaines d'espèces. Mais ceux sont trois grands types d'argiles dont la présence dans le sol est la plus fréquente : la kaolinite , l'illite et la montmorillonite .

a - La kaolinite :

Les kaolinites sont des argiles di octaédriques (ou T-O) avec une épaisseur du feuillet de l'ordre de 7,2 Å (figure 1.25 et figure 1.26). Quand deux feuillets de kaolinite sont superposés , les O- présents sur la surface supérieure et les H+ de la surface inférieure développent entre eux une liaison hydrogène O-H forte, assurant avec les liaisons de Van der Waals une grande stabilité à un empilement de feuillets vis-à-vis des actions de l'eau. Par conséquent , les particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par l'eau. Les cristallites (association de plusieurs feuillets), qui résultent de cet empilement, sont des plaquettes rigides dont l'extension latérale est de quelques centaines de nm et qui ne permettent pas la pénétration de l'eau au sein de l'espace inter foliaire et la substitution entre les feuillets. La liaison hydrogène forte entre les feuillets explique l'importance du

nombre de feuillets par particule de kaolinite (de quelques dizaines à quelques centaines de feuillets solidement liés l'un à l'autre) et la faible valeur de la surface spécifique qui ne dépasse pas généralement 45 m²/g.

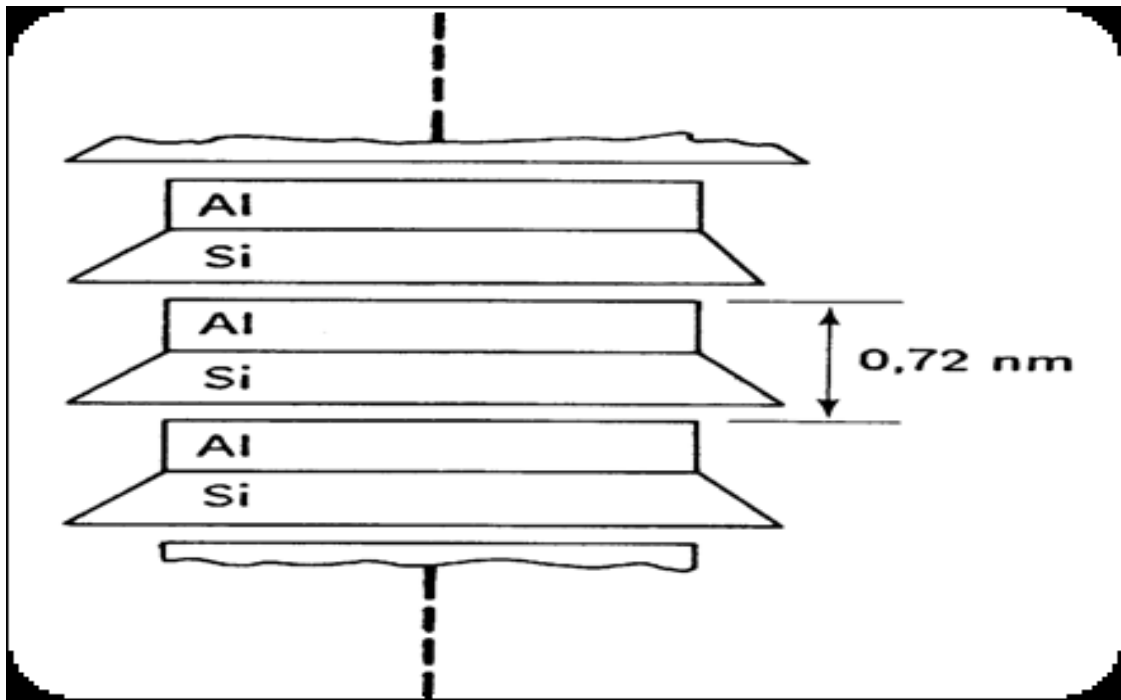


Figure I.2 : Schéma de la structure de la kaolinite, (d'après Lambe, 1953)

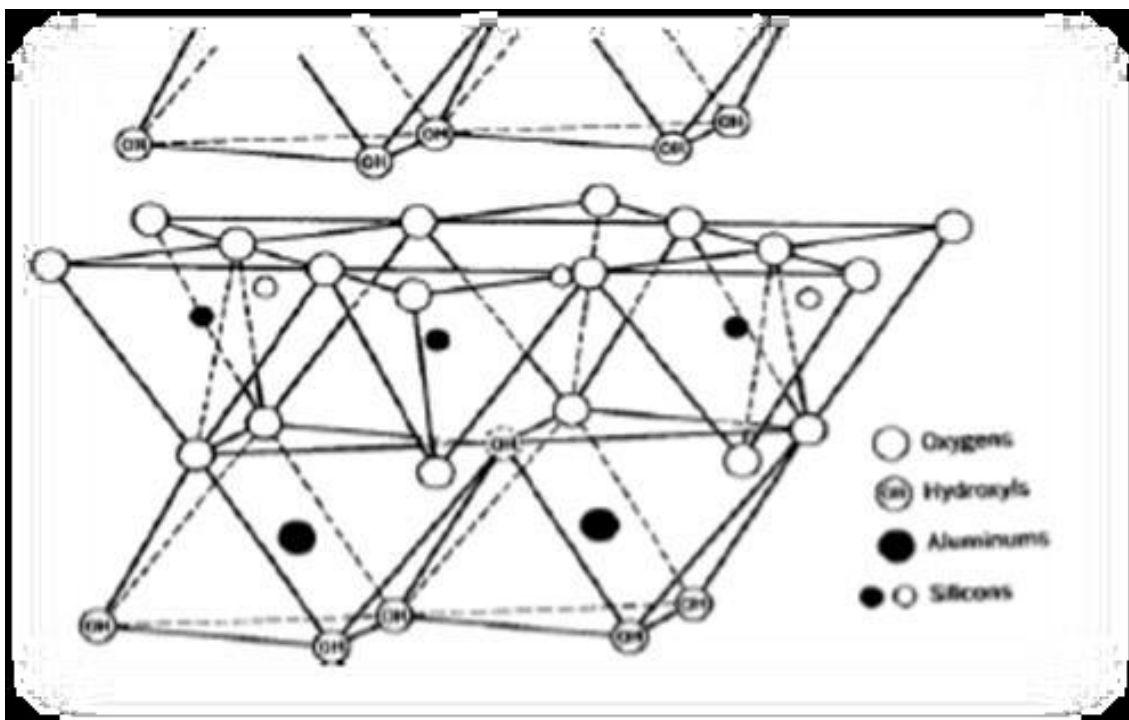


Figure I.3 : Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite , (d'après Grim , 1986)

b - La montmorillonite:

Le feuillet élémentaire (type 2:1 ou T-O-T) est constitué de deux couches tétraédriques de silice encadrant une couche octaédrique d'alumine. L'empilement des feuillets est désordonné : chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent et a une extension latérale extrêmement importante par rapport à son épaisseur qui est d'environ 9,6 Å (figure I.27 et figure I.28). Ce désordre de feuillets et la constitution des faces inférieures/supérieures de ces argiles ne permettent pas le développement d'une liaison hydrogène entre les feuillets , ce qui facilitent leur écartement et l'adsorption des molécules variées (cations , eau , molécules organiques) au niveau de l'espace inter foliaire qui s'écarte. Par conséquent , la montmorillonite est très sensible à l'eau et un important gonflement de la particule peut se produire par adsorption de molécules d'eau entre les feuillets. L'épaisseur du feuillet peut alors varier de 9,6 Å à 15 Å , voire plus selon la nature du cation compensateur et l'hydratation de l'espace inter foliaire. Les montmorillonites sont généralement calciques , plus rarement sodiques suivant la nature du cation prédominant (calcium, sodium). Il est connu que le sodium confère des propriétés de gonflement supérieures à celles permises par la présence de calcium comme cation échangeable dans une argile.

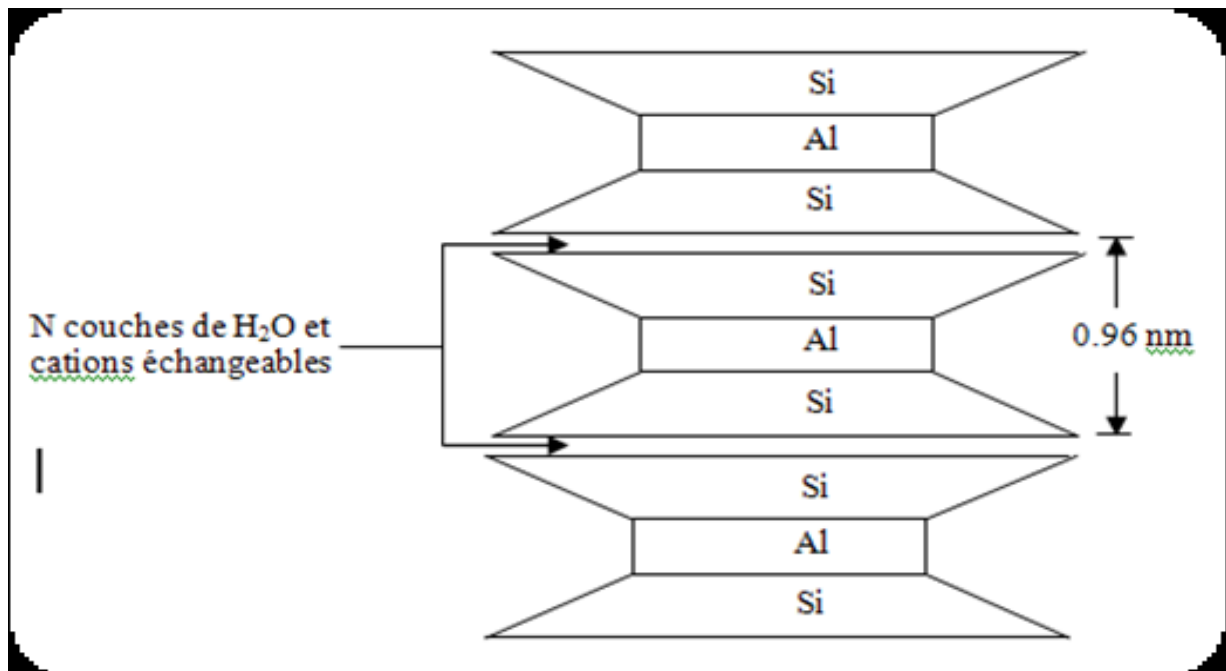


Figure I.4: Schéma de la structure la montmorillonite (d'après Lambe, 1953)

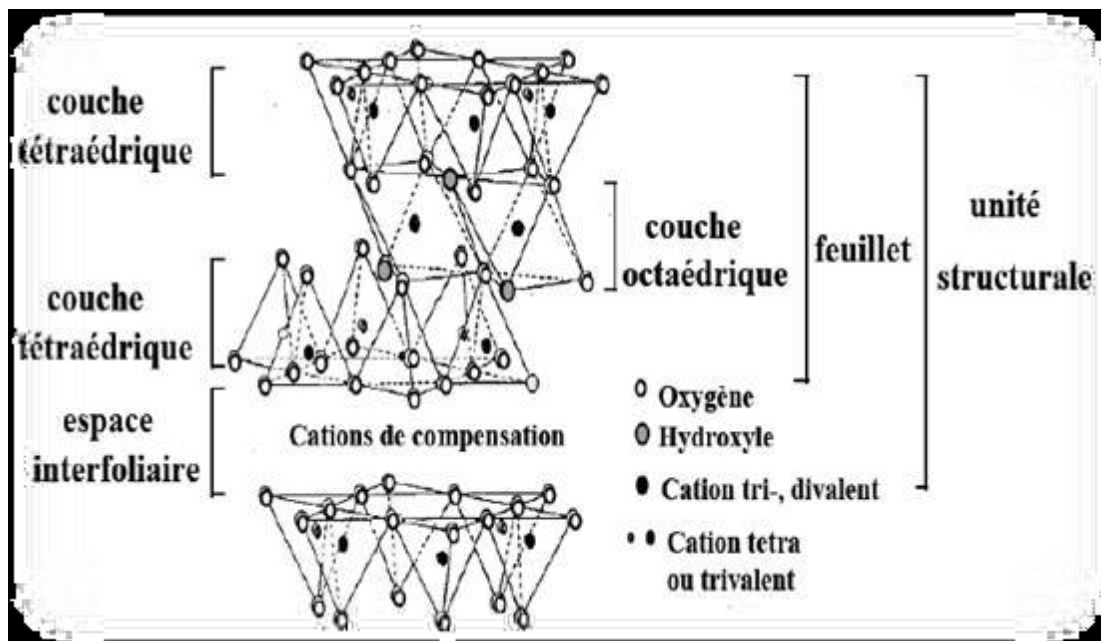


Figure I.5 : Structure de la montmorillonite (Reinholdt, 2001)

c - L'illite :

Sa structure (type 2:1) est proche de celle de la montmorillonite mais elle possède un déficit de charge plus élevée dû aux substitutions ioniques par des cations interfoliaires de potassium K^+ (figure I.29 et figure I.30). Les cations K^+ ont la particularité de posséder exactement la même dimension que les cavités de surface où ils sont piégés. Cette liaison des feuillets par les ions potassium anhydre est très forte et empêche que les molécules d'eau ne parviennent à entrer entre les feuillets, rendant ces ions non échangeables et hydratables. Les illites ont des feuillets d'équidistance fixe à 9,6 Å. Ce caractère leur confère un plus faible potentiel de gonflement que celui des montmorillonites et la constitution de particules de grandes tailles [6].

CHAPITRE II :
« MATERIAUX DE L'ETUDE ET
TECHNIQUES EXPERIMENTALES »

II .1- Introduction :

Depuis près de 10.000 ans que les hommes bâtissent les villes , la terre crue a été et demeure l'un des principaux matériaux de construction utilisé sur notre planète. Plus de 50 % de la population mondiale vit dans une habitation en terre crue. Elle représente 17% des édifices classés au patrimoine par l'UNESCO. Plus de 15 % du patrimoine bâti français est en terre. L'un des défis récurrent pour ce matériau a toujours été sa résistance à l'eau et aux intempéries. [7]

Alors dans le cadre de nos recherches, nous abordons dans ce chapitre la description des équipements , méthodes et moyens nécessaires pour obtenir les matériaux permettant d'obtenir les meilleurs résultats en atteignant la plus grande résistance à la compression tout en conservant la plus grande quantité d'énergie possible et en assurant une plus grande durabilité des installations réalisées avec des matériaux locaux naturels d'origine minérale, animale ou végétale.

II.2-Méthodologies expérimental :

II.2.1-Introduction :

Dans le cadre de la préparation à la réalisation du mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master 02 , Division Génie Civil , spécialité matériaux en génie civil sous la direction du Pr. Bencheikh Mohammed . Tout d'abord , nous avons effectué une inspection du laboratoire , où nous avons identifié l'équipement et les moyens nécessaires pour réaliser des expériences liées au sujet de notre recherche représenté dans " **ELABORATION D'UN MATERIAU A BASE DE TERRE CRUE POUR LE DEVELOPPEMENT ENERGETIQUE** " , nous avons également discuté des meilleures façons de l'utiliser et de l'entretenir selon les directives du directeur du laboratoire Pr. Bincheikh Mohamed , ont également été examinés les matériaux nécessaires de près au niveau de ce laboratoire et on désigne notre organigramme comme suite.

II.2.2 - Organigramme :

- 1 - Nettoyage et aménagement de la partie consacrée aux expérimentations dans le laboratoire de développement Géo matériaux , de l'Université Mohamed Boudiaf à M'sila.
- 2 - Examiner les appareils et équipements nécessaires pour accomplir ce travail en laboratoire.
- 3 - Préparer le matériel et les accessoires nécessaires à la réalisation de ce travail
- 4 - Mener des expériences pour déterminer les propriétés de ces matériaux.
- 5 - Utilisation du logiciel de MINITAB (plan d'expériences) pour définir les expériences.
- 6 - formation des blocs de forme cubique (10*10*10) de terre crue en modifiant les proportions de composants et d'additifs et en les laissant dans un milieu humide (95%) (la cure).
- 7 - Après durcissement , et Après avoir pesé ces blocs ont été placés dans une étuve à une température constante de 50 °C (perte de masse).
- 8 - On réalise des expériences de compression des échantillons de ces blocs de construction après que le temps nécessaire se soit écoulé , on prendre les résultats du résistance et dessinons les courbe.
- 9 - formation des box creux de (20*32*41) cm³ de la brique , ces box portant à l'intérieur des capteurs pour mesurer la température (la température interne est bien inférieure à 50°C).
- 10 - Isolation de ces box avec du mortier de terre crue (revêtement en deux couches) , à différents additifs.
- 11- Après durcissement , ont été placés dans une étuve à une température constante de 50 °C.
- 12 - Enregistrement de l'évolution de la température interne en fonction du temps au moyen de capteurs thermiques.
- 13 – En fin on compare et analyse les résultats.

II.2.3 - Moyens et matériaux :

Le laboratoire de l'Université de M'sila nous a fourni tous les équipements et moyens nécessaires à la conduite de nos recherches qui sont des appareils de mélange, de Séchage , de mesure et d'essais mécaniques



Figure II.1 : équipements et moyens

II.2.3.1 – Équipements :

Outils pour mélange , malaxeur , moules (cubiques 10*10*10) , vibreur , Presse hydraulique pour l'essai de compression , tamiseuse électromécanique , ensemble de thermocouples ou thermomètres , Etuve à une température constante de 50 °C Réservoir d'eau d'eaux et autre.

II.2.3.2 – Matériaux :

Nous avons également fourni au laboratoire de développement Géo matériaux , université de M'sila les moyens et équipements et nous avons fourni la plupart des matières premières telles que la terre crue , le ciment , le sable , l'eau et de nombreux types d'additifs tels que la coupeaux de bois , la laine de mouton , la laine de verre , la laine de roche et autres.



Figure II.2 : types de terre utilisés

1 – Terre blanche du laboratoire :

La Terre blanche de laboratoire de développement Géo matériaux à l'université de M'sila est extraite à partir de Hammam Edalaa

2 – Terre grise du laboratoire :

L'argile grise de laboratoire de développement Géo matériaux à l'université de M'sila est extraite du Mâadid de la wilaya de M'sila (Algérie) .

3 – Terre verte du laboratoire :

L'argile Verte de laboratoire de développement Géo matériaux à l'université de M'sila est extraite du Errachana de la wilaya de M'sila (Algérie) .

4 – Terre rouge / Echaâba Elhamra :

La terre rouge de laboratoire de développement Géo matériaux à l'université de M'sila est extraite d'Echaâba Elhamra de la wilaya de M'sila (Algérie)

5 – Tuf :

Le tuf est une substance de grande importance , est utilisée à l'état brute dans divers domaines industrielle , lorsque ils présentent des caractéristiques minéralogique et structurales bien déterminer , son utilisation s'tale vers des domaines plus complexes , lorsque l'industrie chimique et travaux routier.



Figure II.3 Tuf (V.S.A Khoubana , M'sila)

5.1- Utilisations des tufs calcaires :

Les tufs calcaires sont utilisés en techniques routières selon leur qualité. Ils sont utilisés , le plus souvent sous forme de granulats non liés pour la construction des chaussées de moyen à faible trafic. L'utilisation la plus courante est en assises de chaussée (couche de base et couche de fondation), d'autres usages sont fréquents : accotements , couche de forme , pistes agricoles , etc. L'utilisation des tufs calcaires dans les travaux publics , elle est utilisée comme matériaux de remblais légers , pour la réalisation de terrains de sport , piste d'athlétisme , amendement de terrains gazonnée. [8]

5.2 - Les tufs calcaires en Algérie :

Les encroûtements calcaires sont répartie partout dans le monde on trouve ces formations dans les régions plates à climat aride à semi-aride, favorables à leur formation. [9]

6 - Sable des dunes (V.S.A Khoubana) :

Sable de dunes de Khoubana est un fin , ile se trouve au sud de VSA Khoubana à 3 kilomètres à le sud de la CW 9 de M'sila ver M'cif.



Figure II.4 Sable des dunes (V.S.A Khoubana , M'sila)

7 - Ciment :

Le ciment utilisé est le ciment CEM II A-P 42.5 N NA 442 de la cimenterie de Chlef " Société du ciment et des produits dérivés à Chlef , GiCa Biton

Le ciment blanc utilisé est le Ciment Portland NA 442 - CEM 152,5 R. Le ciment Malaki Super Blanc 52.5



Figure II.5 : Les deux types de ciment utilisé.

8 - 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.

II.3 - Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051) :

Les limites d'Atterberg sont les teneurs en eau présentant les limites de passage du sol d'un état à un autre : « la limite de liquidité et la limite de plasticité ». La limite de plasticité (W_p) est la teneur en eau correspondante au passage de l'état solide à l'état

plastique. Cependant, la limite de liquidité (W_l) présente le passage de l'état plastique à l'état liquide. Les figures II.9 et II.10 illustrent les essais d'identification de ces limites d'Atterberg .Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considérée, exprimée en pourcentage de masse de la matière première brute. La différence $I_p = W_l - W_p$ d'apprécier la quantité et le type d'argiles présentes dans un échantillon. Il définit donc l'argilosité de l'échantillon.

IP : indice de plasticité : Cet indice définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les Limites de liquidité et de plasticité (Figure II.8).

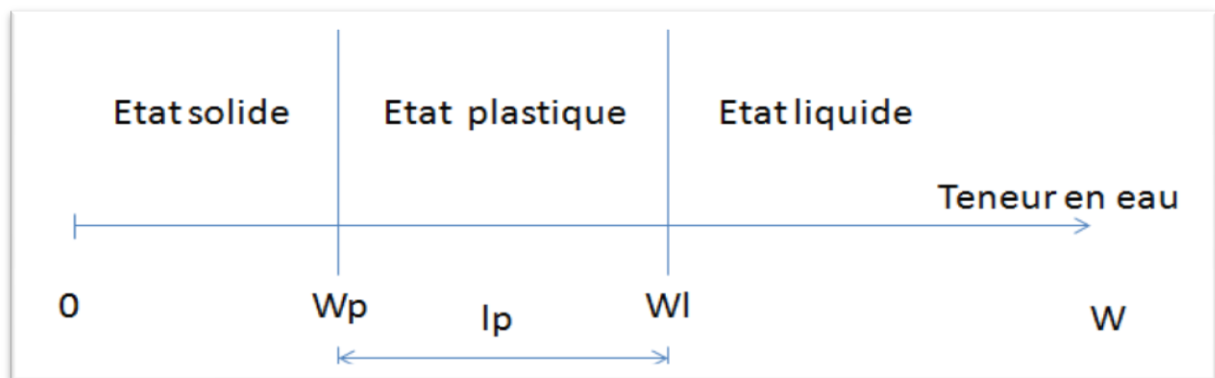


Figure II.6 : Présentation des limites d'Atterberg.



Figure II.7 : Limite de plasticité au rouleau



Figure II.8 : Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande

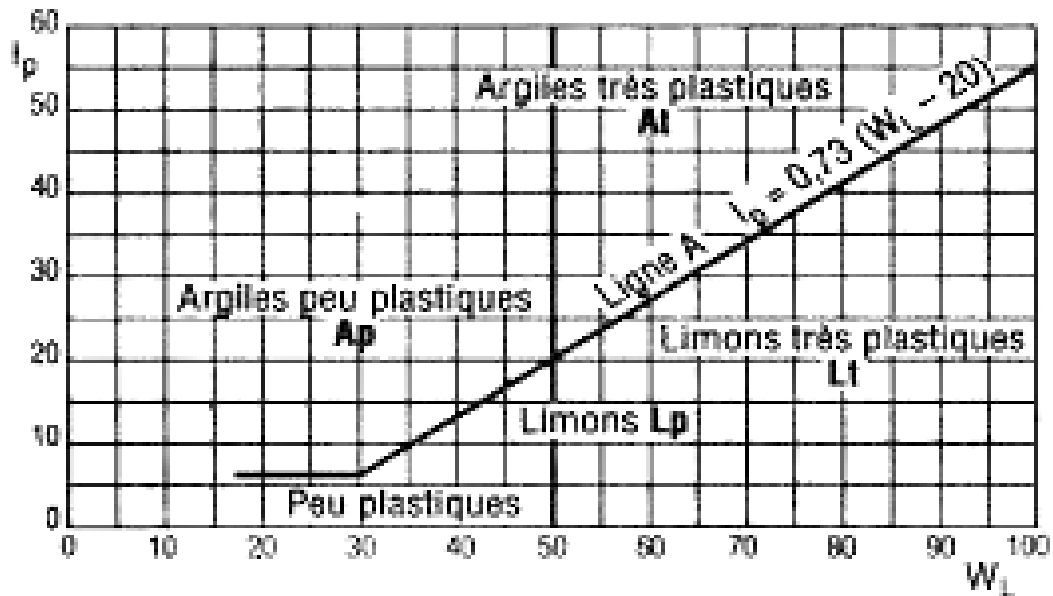


Figure II.9 : Diagramme de Casagrande

Type d'argile	La limite d'Atterberg		
	Limite de liquidité WL (%)	Limite de plasticité WP (%)	L'indice de plasticité IP (%)
Verte	50,52	33,56	16,96
Rouge	24,08	18,74	5,34
Grise	26,83	25,46	1,37

Tableau II.1 : Les résultats obtenus par l'essai de la limite d'Atterberg pour les 03 types des argiles.

-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.

II.3.1 Composition minéralogique (DRX) :

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 (II.12).



Figure II.10 : appareillage Diffractomètre.

Les diffractogrammes des différents échantillons sont présentés dans les tableaux

Type d'argile	R_Wp (%)	Calcite (%)	Dolomite (%)	Quartz (%)	Pyrite (%)	Illite (%)
Argile Verte	7,27	21,79	4,99	27,32	0,42	24,04
Argile Grise	8,04	16,83	2,42	25,73	0,14	25,97
Terre rouge	7,05	55,24	10,95	7,90	0,26	18,72

Tableau II.2 : Composition minéralogique des échantillons (%)

Type d'argile	chlorite (%)	kaolinite (%)	albite (%)	CO2_XRD (%)	PAF (%)
Argile Verte	5,25	10,11	6,07	11,96	18,10
Argile Grise	4,28	17,41	7,21	8,56	17,17
Terre rouge	5,31	1,25	0,37	29,52	27,00

Tableau II.3 : Composition minéralogique des échantillons (%)

Avec PAF : Perte au Feu. Le diffractogramme de l'échantillon de l'argile grise montre qu'il est essentiellement de Quartz , d'illite et de calcite, Cependant la composition minéralogique de l'échantillon de l'argile verte contient l'illite, le Quartz et la kaolinite. L'échantillon de l'argile rouge est constitué de forte proportion de calcite.

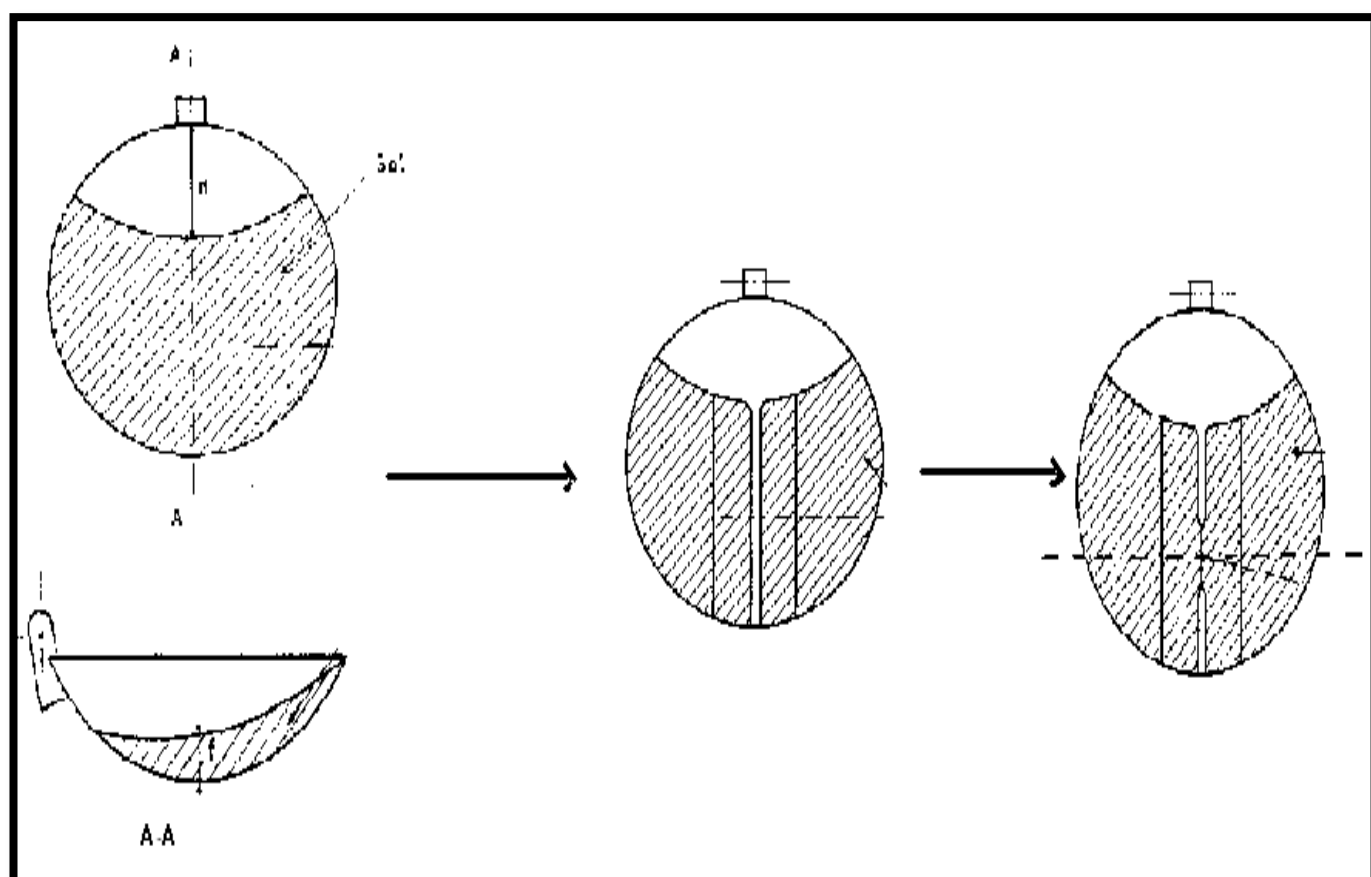


Figure. II.11 : Etapes de l'essai de limite de liquidité

II.3.2 - Expression des résultats :

Le tableau II.4 résume les résultats de l'essai des limites d'Atterberg de tuf et sable de Dunes :

Echantillon	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)
Tuf	28	18,30	9,85
Sable de dune	22,2	NM	NM

Tableau II.4 : Valeurs de Limites d'Atterberg du tuf et sable de dunes

Les courbes résument les résultats de l'essai des limites d'Atterberg de tuf et sable de dunes :

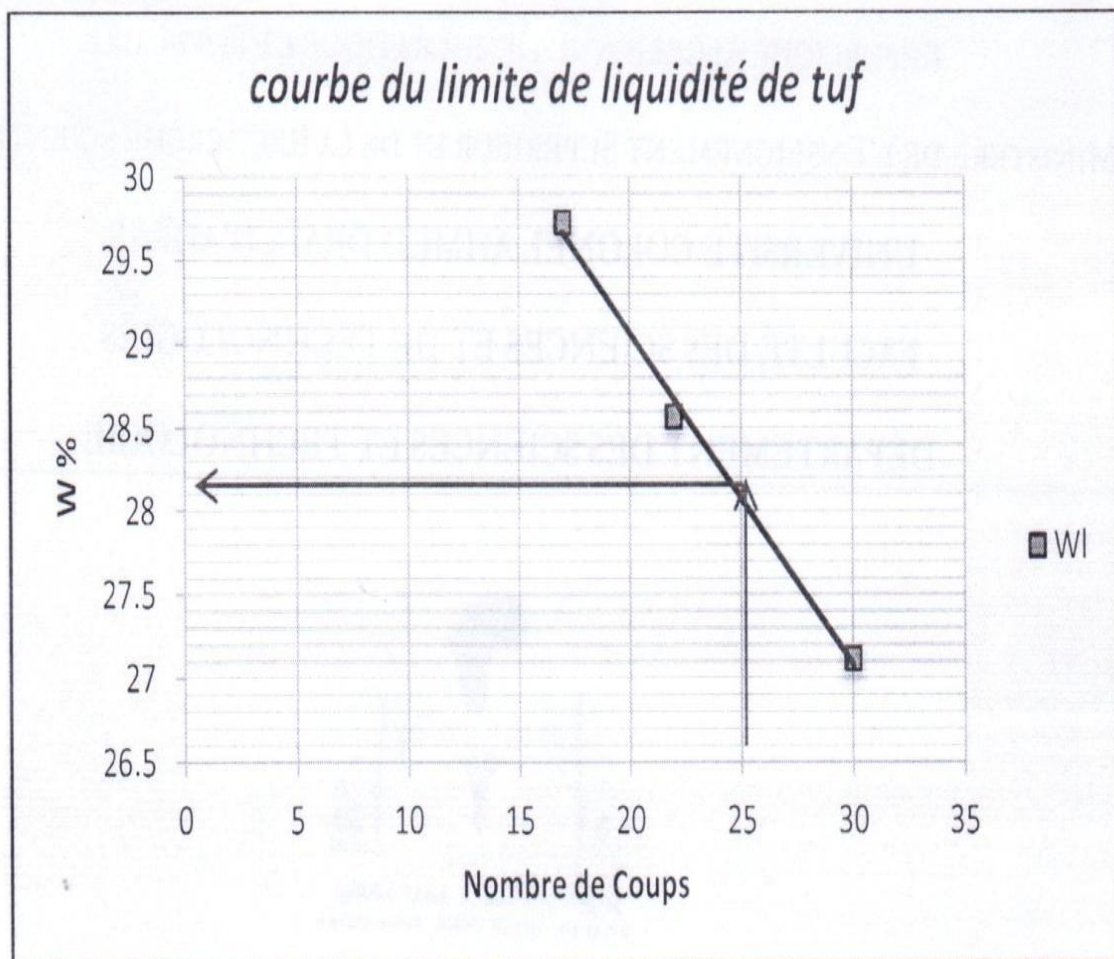


Figure. II.12 : limite de liquidité de Tuf

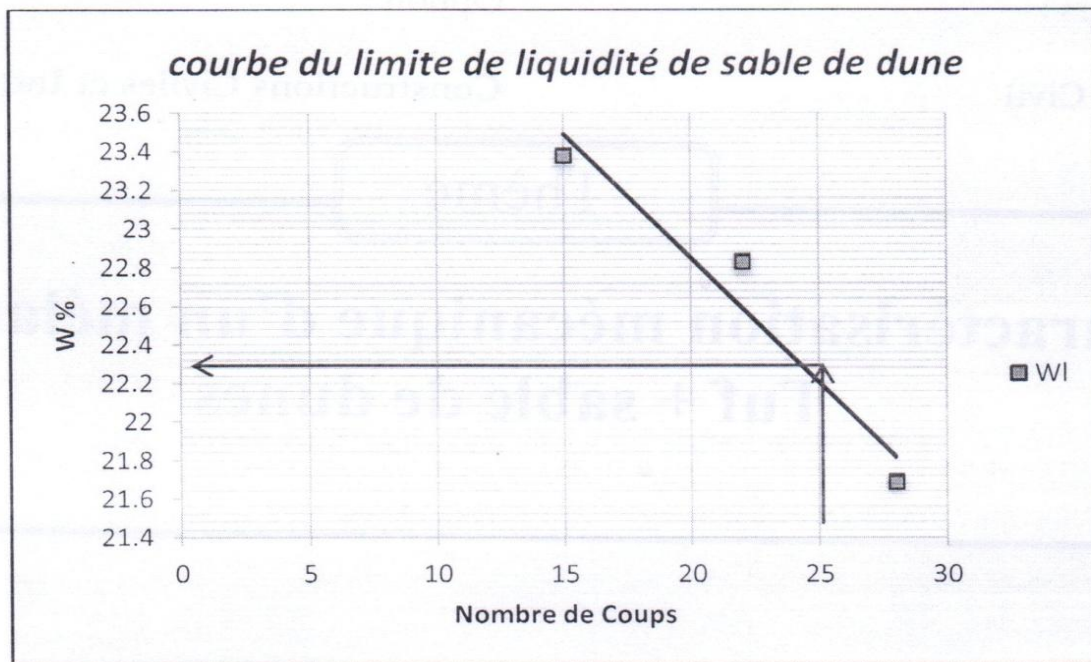


Figure. II.13 : limite de liquidité de sable des dunes



Figure. II.14 : Tuf et sable des dunes (V.S.A Khoubana , M'sila)

II.3.3 - Expérimentations préliminaires :

Pour connaître les caractéristiques des types de sols utilisés dans nos recherches, nous avons mené de nombreuses expériences préliminaires dont la plus importante est de distinguer par le toucher et le frottement entre les doigts , de pétrir la terre crue et d'observer son comportement , de la sécher au atmosphère normale et en le séchant dans un four à haute humidité , en formant des échantillons $4 * 4 * 16 \text{ cm}^3$ et d'autres $7 * 7 * 7 \text{ cm}^3$, en plus des échantillons $10 * 10 * 10 \text{ cm}^3$ et en réalisant des expériences de flexion et de compression mécanique sur eux



Figure. II.15 : Quelques étapes d'expériences préliminaires (la terre brut)

- Différents Courbes de terre crue

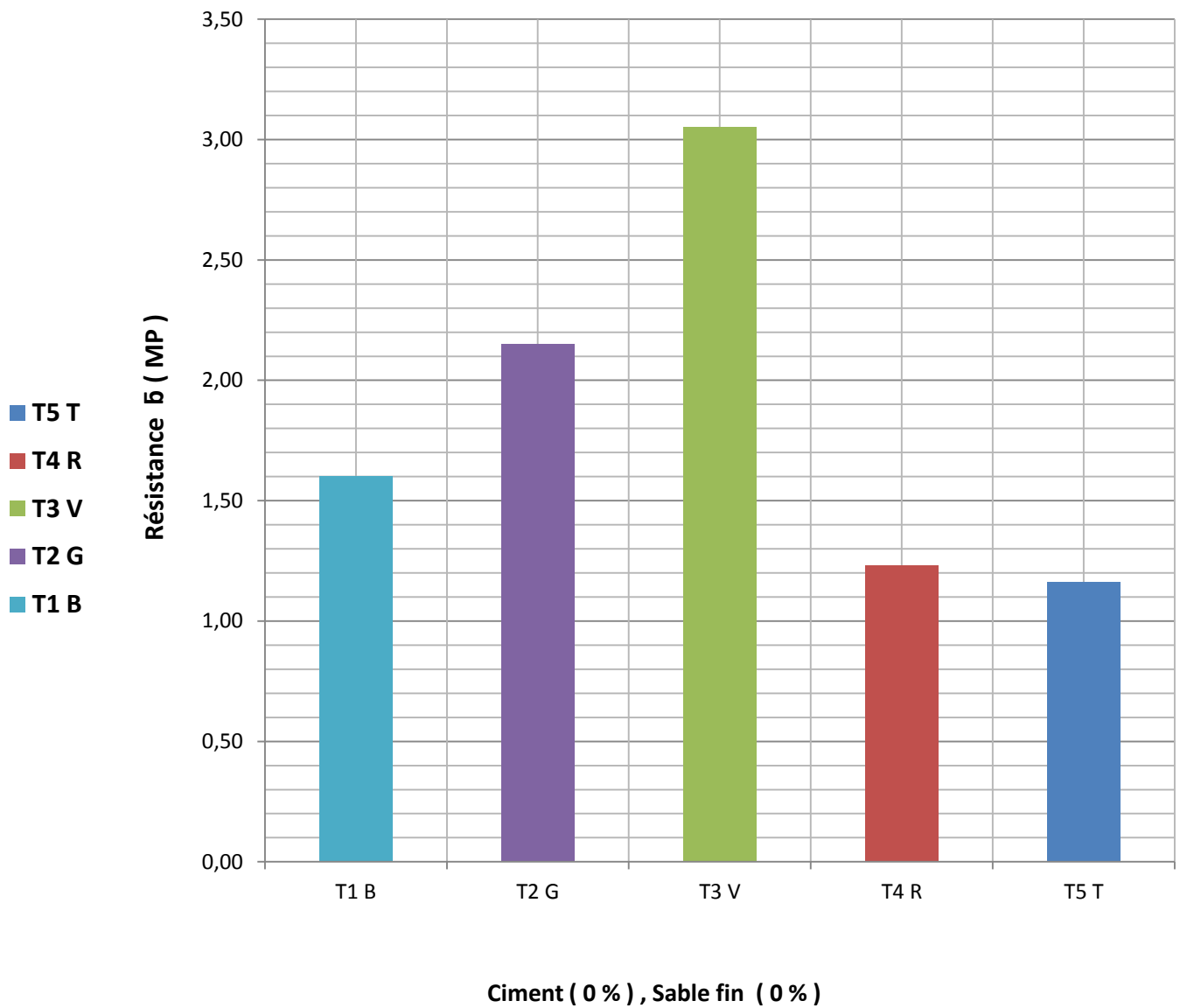


Figure. II.16 : Schéma d'une des expériences de contraintes mécaniques sur la terre crue
(T1 : Blanche , T2 : Grise , T3 : Verte , T4 : Rouge , T5 : Tuf)

II.3.4 - Conclusion :

A travers les études précédentes des matériaux utilisés dans nos recherches et les expérimentations préliminaires que nous avons réalisées en laboratoire, ce chapitre a traité de la détermination des propriétés physiques, minérales et géotechniques des matériaux utilisés qui nous permettent de connaître leur comportement et la manière de les traiter, en notant les observations suivantes :

- Le Tuf et la terre rouge blues disponible que la terre blanche , grise et verte .
- La terre blanche (T1) était relativement pétrissable par rapport à les pates des
- terres grise (T2) et la terre verte (T3) qui sont un peut difficiles à pétrir (se convergent en leur composition minérale).
- Volume de terre grise (T2) et de terre verte (T3) significativement réduit après séchage.
- Fissures visibles en terre grise (T2) et terre verte (T3) après séchage à l'air libre.
- La Terre rouge (T4) était la plus facile de pétrir par rapport à les trois autres types de terre (T1 , T2 et T3).
- Le Tuf (T5) est le plus facile de tout mais de courte durée en raison de sa soif d'eau

II.4 - Matériaux d'isolation (NF EN ISO 13789)

NF EN ISO 13789 - Juillet 2017 : Performance thermique des bâtiments ,
Coefficients de transfert de chaleur par transmission et par renouvellement d'air –
Méthode de calcul

II.4.1 - La laine de verre :



Figure. II.17 : Laine de verre



Figure. II.18 : Laine de verre utilisée

La laine de verre sont certifiées par l'ACERMI (organisme établi dans l'Espace économique européen et accrédité selon la norme NF EN 45011 par le Comité français d'accréditation (COFRAC)) [10]

La laine de verre est constituée de verre comme matière première principale et est étirée par étirage centrifuge à haute température et à grande vitesse. Il a les caractéristiques d'absorption acoustique , de réduction du bruit , d'isolation thermique et de résistance à l'humidité . Il est souvent utilisé pour l'isolation de certains bâtiments ordinaires et de tuyaux à basse température . La température la plus élevée dans l'environnement de fonctionnement peut atteindre environ 260 degrés , et elle est généralement utilisée pour les pièces d'isolation thermique inférieures à 200 degrés.

La laine de verre est un matériau isolant thermique de consistance laineuse obtenu par fusion à partir de sable et de verre recyclé (calcin) [11]. Elle a été inventée en 1938 par Russell Games Slayter pour la société Owens-Corning[12]. Depuis, elle est utilisée abondamment pour l'isolation thermique, l'isolation phonique et la protection incendie de tous types de bâtiments [13].

II.4.2 - Impact sur l'environnement :

Afin de mesurer l'impact environnemental d'un produit isolant , il faut prendre en compte l'intégralité du cycle de vie de ce produit , depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie (démolition par exemple). La laine de verre , utilisée pour le bâtiment et dotée d'une longue durée de vie, permet d'économiser plus d'énergie qu'elle n'en nécessite pour sa fabrication , transport et élimination. De fait , elle contribue à une réduction sensible des émissions de CO2 gaz à effet de serre des bâtiments.On peut ainsi comparer les consommations d'énergie sur le cycle de vie (énergie grise) de matériaux isolants pour une résistance thermique $R = 1 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$, relevées dans la base INIES[14] (base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des produits de

- Lin = 59,6 MJ/m² ou 16,56 kWh/m² ;
 - Chanvre = 40 MJ/m² ou 11,12 kWh/m²;
 - Ouate de cellulose = 25,2 MJ/m² ou 7 kWh/m² ;
 - Laine de verre = 20,73 MJ/m² ou 5,76 kWh/m² ;
 - Laine de roche = 127 MJ/m² ou 35,28 kWh/m² ;
- (Coefficient de conversion entre MJ/m² et kWh/m² : 3,60).

II.4.3 - laine de roche :

Le panneau de laine de roche est composé de dolomie et de basalte comme principales matières premières. Il est fabriqué à partir de fibres inorganiques à travers un four à haute température et une centrifugation à grande vitesse. Il présente les caractéristiques de résistance aux acides et aux alcalis , de résistance à l'humidité , d'isolation thermique et d'absorption acoustique et de réduction du bruit. Il est couramment utilisé dans l'isolation des murs , les caloducs à haute température , les équipements électriques , etc.



Figure. II.19 : Laine de roche utilisée

C'est un matériau isolant ignifuge avec d'excellentes performances , qui peut prévenir efficacement les incendies , est non toxique et escorte la sécurité incendie des bâtiments. La température maximale de l'environnement d'utilisation peut atteindre environ 600 degrés[15]

II.4.4 - Protection incendie :

Les laines minérales de verre et de roche sans revêtement sont généralement classées A1[16]. Associées au parement ou au support adapté , les laines minérales permettent d'atteindre une bonne résistance au feu (jusqu'à six heures).

II.4.5 - Effets sur la santé :

Les fibres constituant les laines minérales dont la laine de verre ont été très largement étudiées pour connaître leurs éventuels effets sur la santé. Plus de mille articles ont été publiés sur le sujet dont plus de 500 sont cités dans la dernière monographie sur le sujet du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), qui dépend de l'Organisation mondiale de la santé¹². En 2001, le CIRC a changé le

classement des fibres constituant les laines minérales de verre, de roche et de laitier du groupe 2B au groupe 3, c'est-à-dire « ne peut être classé quant à sa cancérogénicité pour l'homme »^{13,14}. Ceci ne signifie pas que l'absence de caractère cancérogène a été démontré (groupe 4 : « l'agent (le mélange) n'est probablement pas cancérogène pour l'homme »), mais qu'il n'y a pas de preuve suffisante permettant de montrer l'existence de caractère cancérogène.

Elles ne sont pas classées dans le système de l'Union européenne (Directive 67/548/CEE maintenant remplacée par le Règlement (CE) no 1272/2008) si leur biopersistance est faible. Cette exonération est certifiée par l'European Certification Board (EUCEB).

D'autres pays comme l'Australie ou la Nouvelle-Zélande ont adopté le même classement que celui de l'Union européenne¹⁵. Plus récemment, les États-Unis, sur la base de la Monographie du CIRC de 2002, ont décidé de ne plus classer des fibres de laines de verre comme cancérogène potentiel^[16]. En raison de leur faible biopersistance, la plupart des fibres de verre utilisées en isolation auraient donc moins de risques de provoquer des cancers chez les humains^[16].

II.4.6 - Laine:

Matériau constitué de fibres de kératine, utilisé dans la production textile, notamment pour ses capacités d'isolant thermique. La laine est utilisée dans tous les domaines du textile : literie , vêtements et sous-vêtements , chapellerie , chaussants , écoconstruction , ameublement , décoration et accessoires (passementerie , rubanerie). La laine est une ressource naturelle renouvelable. Insolent thermique Dans ses fonctions de moquettes , et aussi (pour les laines de second ordre) dans l'isolation des parois et des toitures, c'est un isolant parfaitement naturel. Elle a un coefficient de conductivité thermique de l'ordre de 0,035 à 0,050 W m⁻¹ K⁻¹ et une masse volumique de 10 à 30 kg/m³. Dans la province du Qinghai , en Chine , on transformait encore en 1990 les flocons laineux en matériau de construction. Gorgés d'eau, enroulés autour d'un pieu, ils étaient réduits à l'état de ballot , traîné derrière un cheval pendant des heures : grâce à ce traitement de choc , les fibres se tassaient et le feutre épais obtenu servait à doubler les parois des habitations provisoires d'un campement. En Mongolie , et dans d'autres pays d'Asie centrale, comme le Kirghizstan par exemple, la laine est encore transformée en 2011 en feutre selon la technique du ballot traîné derrière le cheval. Ce feutre sert à fabriquer et

isoler les yourtes , ces tentes de nomades utilisées encore aujourd'hui par la moitié de la population mongole.



Figure. II.20 : Laine



Figure. II.21 : Laine utilisée

L'Algérie est l'un des Pays producteurs de laine (Production DE 34.718 t en 2019)

Principaux pays producteurs de laine en 2019[17] :


Pays	Production, 2019 (en t)
 Algérie	34.718

Figure. II.22 : Production de laine (L'algérie : 34.718 t en 2019)

II.4.6.1 - Caractéristiques textiles :

La laine est un bon isolant thermique , notamment du fait qu'elle emprisonne près de 80 % d'air dans son propre volume. Elle absorbe facilement l'humidité (1 kg de laine contient environ 150 g d'eau). Elle est relativement étirable et reprend relativement facilement sa forme originelle (avec une variabilité selon les races de mouton). Une fibre de laine mesure de 13 à 80 microns de diamètre et sa longueur varie de 2 à 50 cm. La fibre de laine est recouverte d'écailles ; sa section montre une sorte d'écorce appelée cuticule entourant le cortex [18].

II.4.7 - copeaux du bois

Le bois est utilisé dans de nombreuses parties du bâtiment et il est également utilisé dans l'isolation thermique , nous avons donc utilisé ses copeaux en complément du mélange pour augmenter la capacité de la terre crue à retenir l'énergie



Figure. II.23 : Copeaux du bois utilisée

II.5 - Analyse granulométrique (NF P 18-560) :

Pour préparer la terre brute et faciliter son utilisation , nous avons utilisé un tamis de laboratoire d'un diamètre de 4 mm pour tamiser la terre brute importé de différentes régions de la wilaya de M'sila à étudier , qui est (tuf , terre blanche , terre verte , rouge et grise).



Figure. II.24 : Terre brute de laboratoire

II.5.1- Analyses granulométrique par tamisage (voie sèche) :

la répartition des grains de terre crue utilisé est déterminer suivant leurs dimensions par l'analyse granulométrique , Our cette analyse granulaire de ces matériaux suivant la norme NF P 18-560, nous avons utilisé une tamiseuse électromécanique modèle 15-D0410, 15-D0410/A avec un ensemble des tamis (4 ; 2 ; 1,63 ; 1,25 ;1 ; 0,5 ; 0, 2 ; 0,08 et un fond) , et après avoir fait le processus trois fois et pris leur moyenne , nous avons enregistré les résultats dans les tableaux suivants qui nous



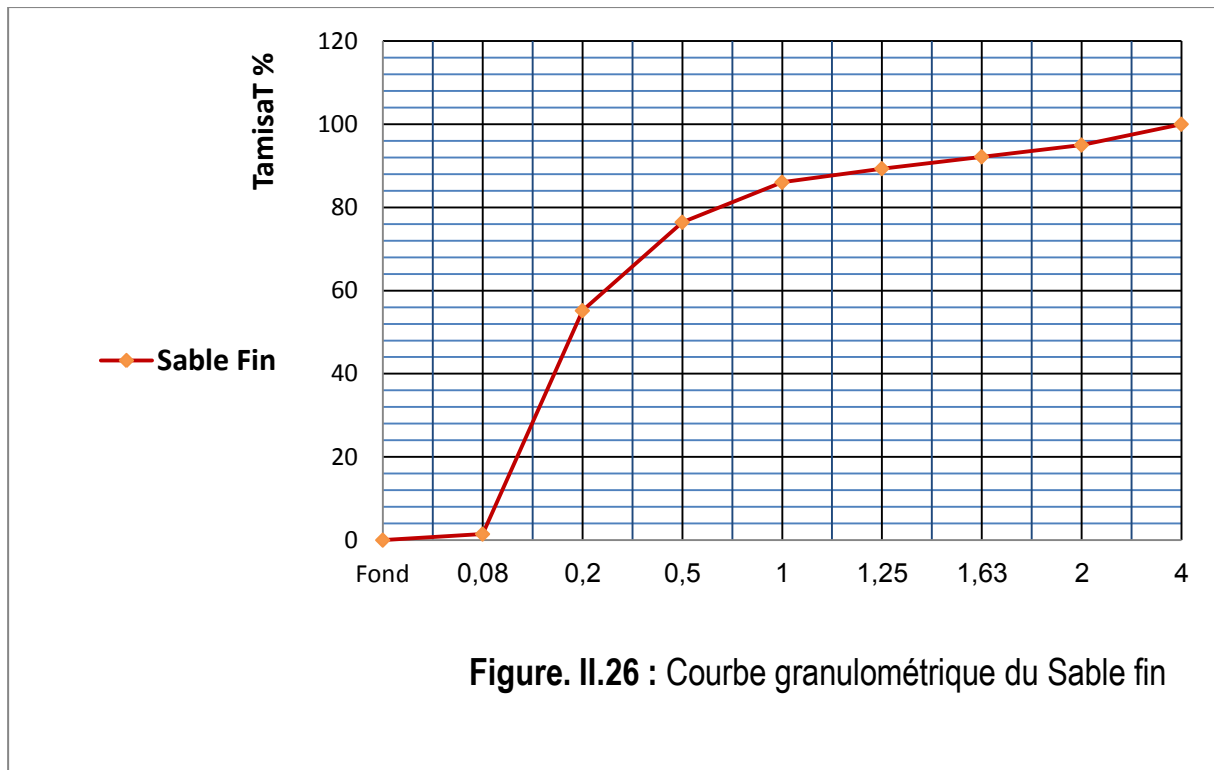
Figure. II.25 : tamiseuse électromécanique modèle 15-D0410, 15-D0410/A

II.4.2 - Analyse granulométrique du Sable Fin :

N°	Tamis (mm)	Processus 1	Processus 2	Processus 3	Moyen
1	4	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,5	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,2	504,00	786,70	736,00	675,57
8	0,08	495,00	212,50	263,50	323,67
9	Fond	1,00	0,80	0,50	0,77
		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

N°	Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus cumuli (g)	Tamisât	Tamisât
			(g)	(%)	(%)
1	4	0,00	0,00	0,00	100,00
2	2	0,00	0,00	0,00	100,00
3	1,63	0,00	0,00	0,00	100,00
4	1,25	0,00	0,00	0,00	100,00
5	1	0,00	0,00	0,00	100,00
6	0,5	0,00	0,00	0,00	100,00
7	0,2	675,57	675,57	67,56	32,44
8	0,08	323,67	999,24	99,92	0,08
9	Fond	0,77	1000,00	100,00	0,00

Tableau II.5 : Analyse granulométrique du sable fin.



II.4.3 - Analyse granulométrique de terre Blanche :

N°	Tamis (mm)	Processus 1	Processus 2	Processus 3	Moyen
1	4	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2	233,40	241,00	306,50	260,30
3	1,63	95,50	92,50	98,50	95,50
4	1,25	141,60	139,40	140,50	140,50
5	1	96,50	97,60	90,50	94,87
6	0,5	237,70	239,50	208,50	228,57
7	0,2	138,50	136,00	111,50	128,67
8	0,08	40,50	39,50	31,50	37,17
9	Fond	16,30	14,50	12,50	14,43
		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

N°	Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus cumuli (g)		Tamisât
			(g)	(%)	(%)
1	4	0,00	0,00	0,00	100,00
2	2	260,30	260,30	26,03	73,97
3	1,63	95,50	355,80	35,58	64,42
4	1,25	140,50	496,30	49,63	50,37
5	1	94,87	591,17	59,12	40,88
6	0,5	228,57	819,74	81,97	18,03
7	0,2	128,67	948,41	94,84	5,16
8	0,08	37,17	985,58	98,56	1,44
9	Fond	14,43	1000,01	100,00	0,00

Tableau II.6 : Analyse granulométrique terre blanche.

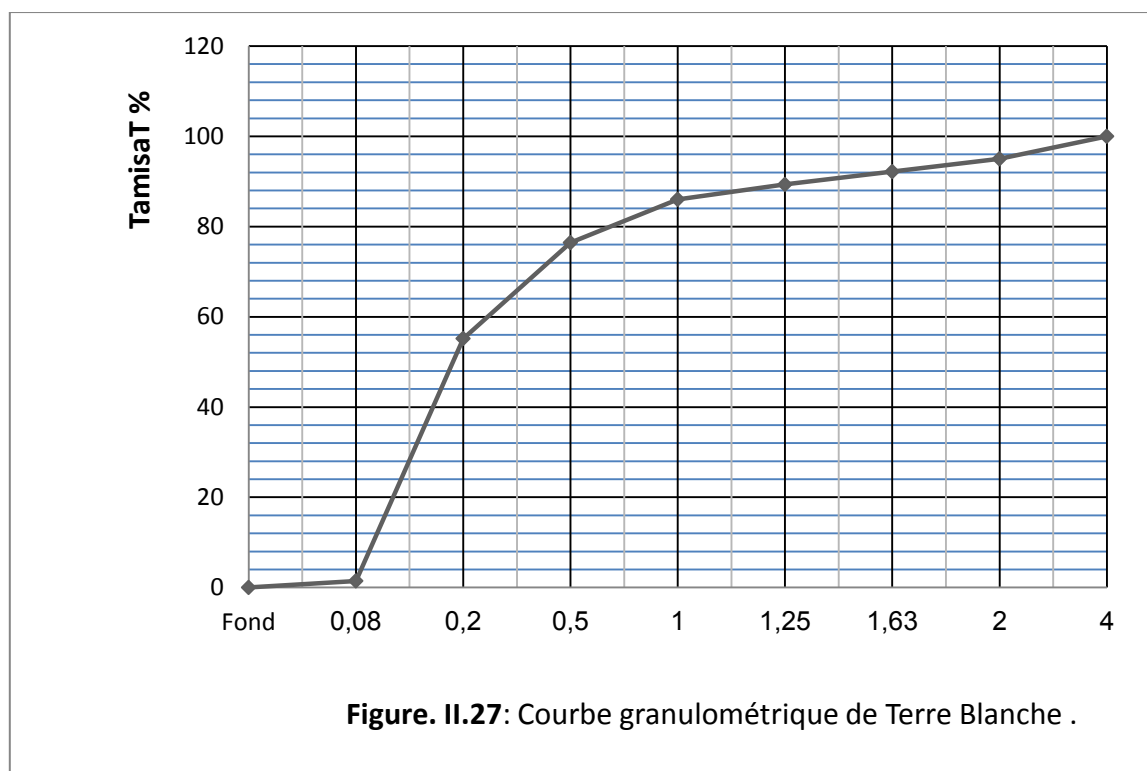


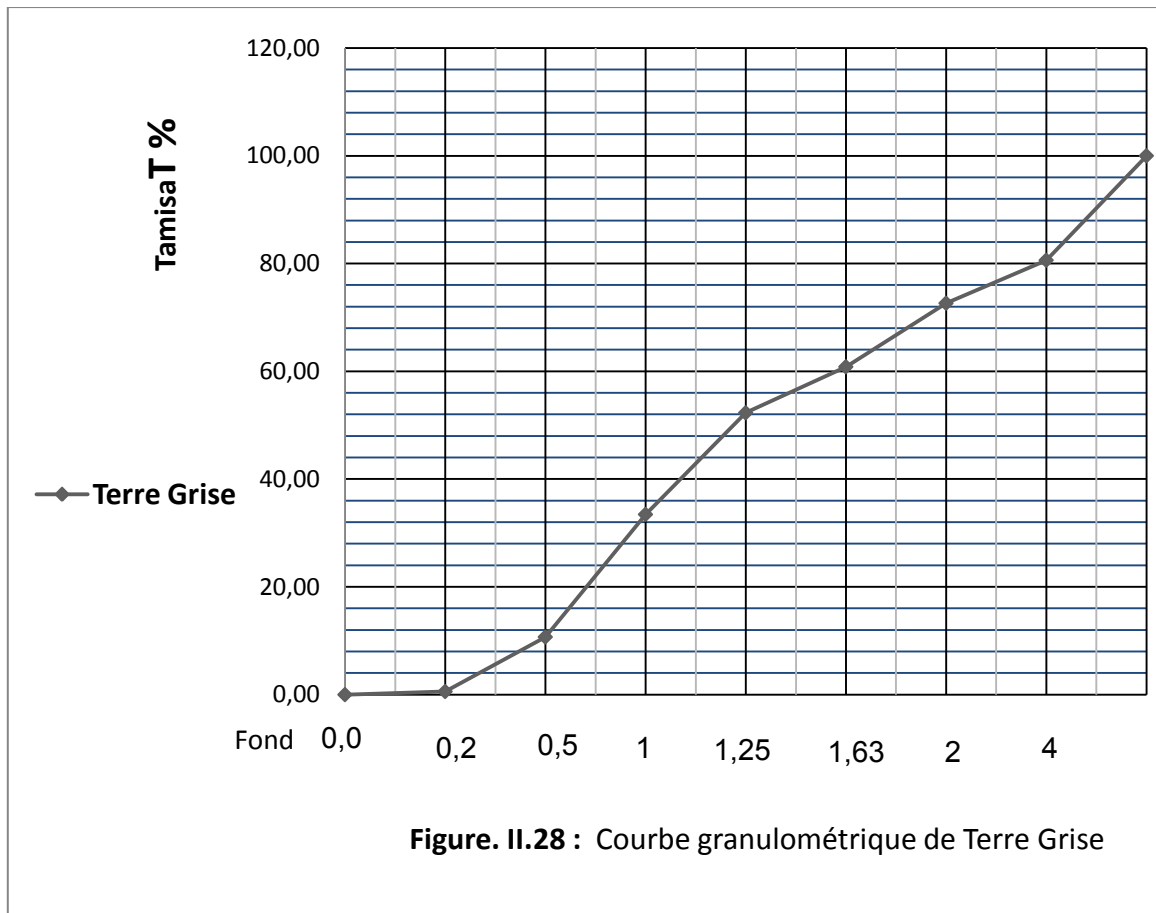
Figure. II.27: Courbe granulométrique de Terre Blanche .

II.4.4- Analyse granulométrique de terre Grise :

N°	Tamis (mm)	Processus 1	Processus 2	Processus 3	Moyen
1	4	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2	216,50	187,00	178,00	193,83
3	1,63	84,90	77,50	77,00	79,80
4	1,25	126,50	119,00	108,50	118,00
5	1	87,60	82,50	86,00	85,37
6	0,5	185,50	191,50	188,50	188,50
7	0,2	210,50	229,50	242,50	227,50
8	0,08	83,00	106,50	114,00	101,17
9	Fond	5,50	6,50	5,50	5,83
		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

N°	Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus cumuli (g)		Tamisât
			(g)	(%)	(%)
1	4	0,00	0,00	0,00	100,00
2	2	193,83	193,83	19,38	80,62
3	1,63	79,80	273,63	27,36	72,64
4	1,25	118,00	391,63	39,16	60,84
5	1	85,37	477,00	47,70	52,30
6	0,5	188,50	665,50	66,55	33,45
7	0,2	227,50	893,00	89,30	10,70
8	0,08	101,17	994,17	99,42	0,58
9	Fond	5,83	1000,00	100,00	0,00

Tableau II.7 : Analyse granulométrique terre grise.



II.4.5 - Analyse granulométrique de terre Verte :

N°	Tamis (mm)	Processus 1	Processus 2	Processus 3	Moyen
1	4	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2	341,50	339,00	352,00	344,17
3	1,63	99,80	104,50	103,00	102,43
4	1,25	131,00	126,00	133,00	130,00
5	1	75,50	80,00	73,50	76,33
6	0,5	163,20	163,50	160,00	162,23
7	0,2	107,60	109,50	106,50	107,87
8	0,08	56,50	55,00	50,00	53,83
9	Fond	24,90	22,50	22,00	23,13
		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

N°	Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus cumuli (g)		Tamisât
			(g)	(%)	(%)
1	4	0,00	0,00	0,00	100,00
2	2	344,17	344,17	34,42	65,58
3	1,63	102,43	446,60	44,66	55,34
4	1,25	130,00	576,60	57,66	42,34
5	1	76,33	652,93	65,29	34,71
6	0,5	162,23	815,16	81,52	18,48
7	0,2	107,87	923,03	92,30	7,70
8	0,08	53,83	976,86	97,69	2,31
9	Fond	23,13	999,99	100,00	0,00

Tableau II.8 : Analyse granulométrique terre verte.

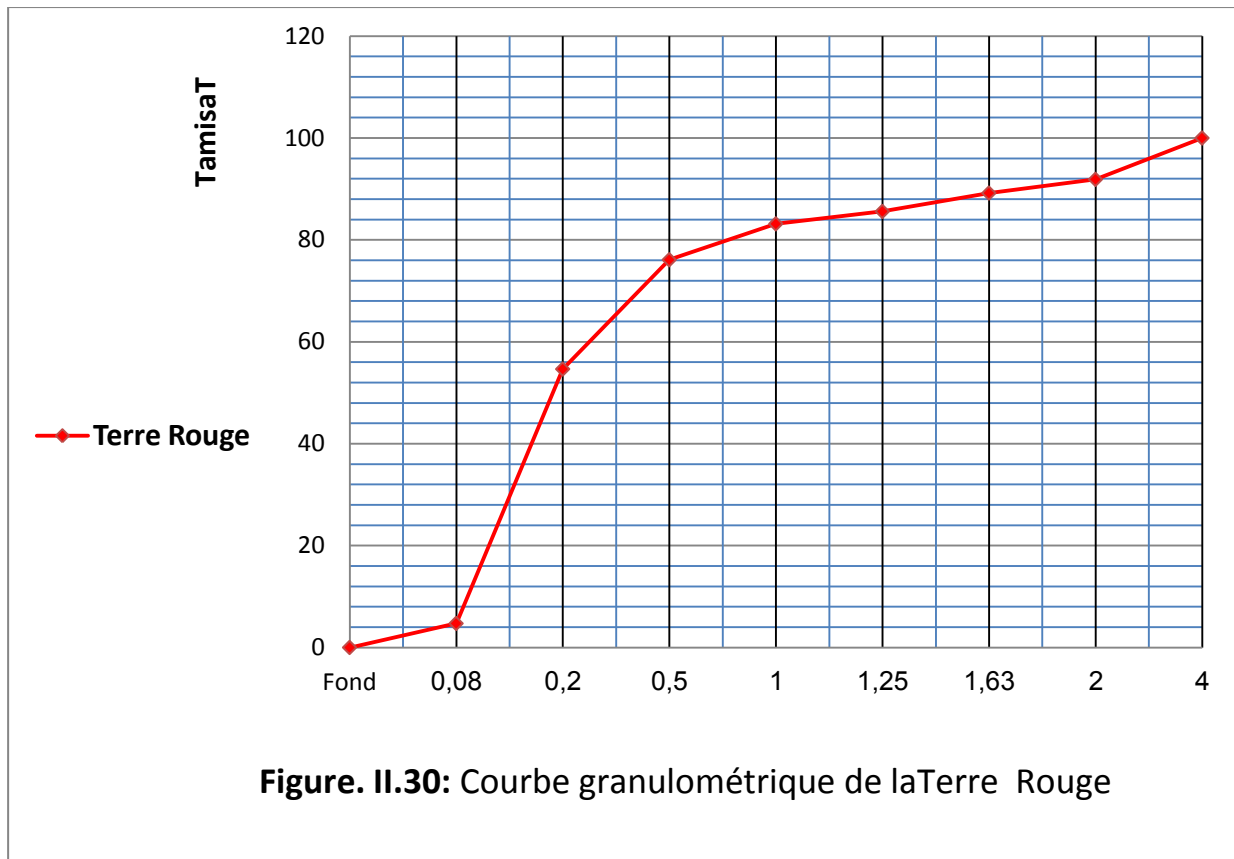


II.4.6 - Analyse granulométrique de terre rouge :

N°	Tamis (mm)	Processus 1	Processus 2	Processus 3	Processus moyen
1	4	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2	102,20	67,00	74,50	81,23
3	1,63	28,00	27,50	25,00	26,83
4	1,25	37,20	35,00	36,00	36,07
5	1	22,60	26,50	24,00	24,37
6	0,5	65,40	74,50	71,50	70,47
7	0,2	205,60	227,00	211,00	214,53
8	0,08	487,30	501,00	509,50	499,27
9	Fond	51,70	41,50	48,50	47,23
		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

N°	Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus cumuli (g)		Tamisât
			(g)	(%)	(%)
1	4	0,00	0,00	0,00	100,00
2	2	81,23	81,23	8,12	91,88
3	1,63	26,83	108,06	10,81	89,19
4	1,25	36,07	144,13	14,41	85,59
5	1	24,37	168,50	16,85	83,15
6	0,5	70,47	238,97	23,90	76,10
7	0,2	214,53	453,50	45,35	54,65
8	0,08	499,27	952,77	95,28	4,72
9	Fond	47,23	1000,00	100,00	0,00

Tableau II.9 : Analyse granulométrique de terre Rouge .

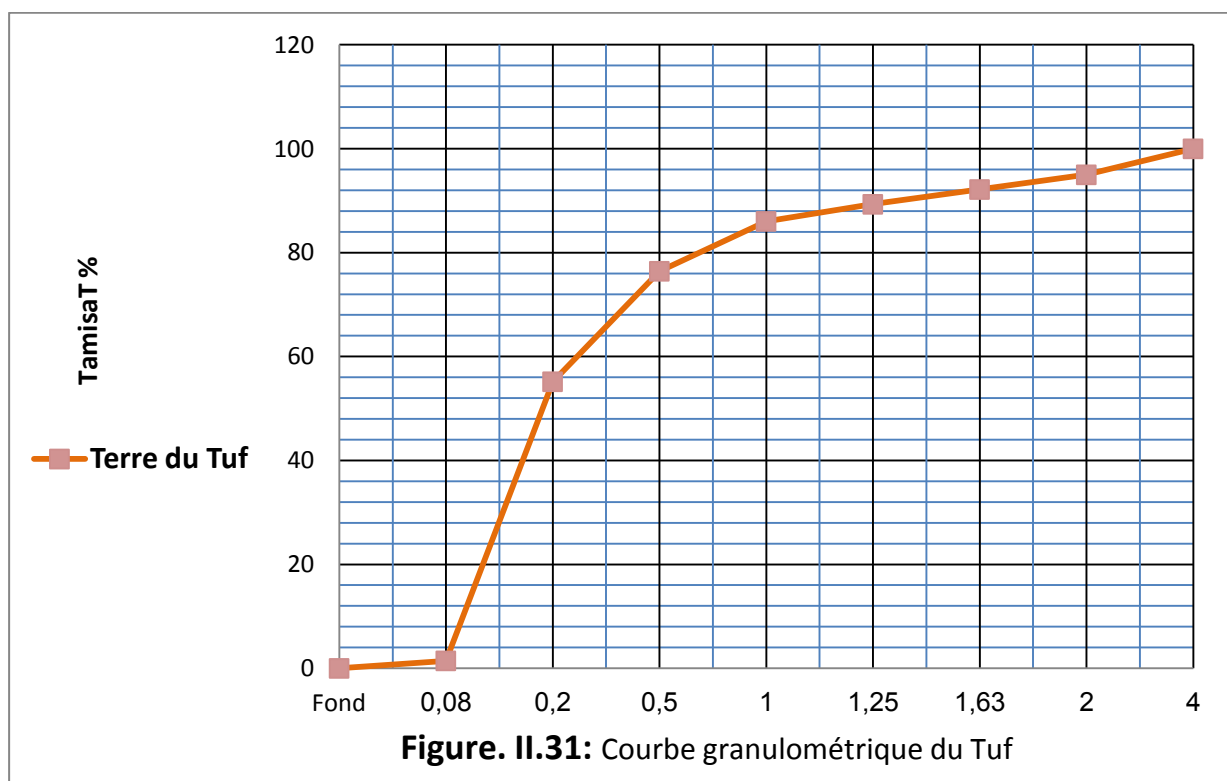


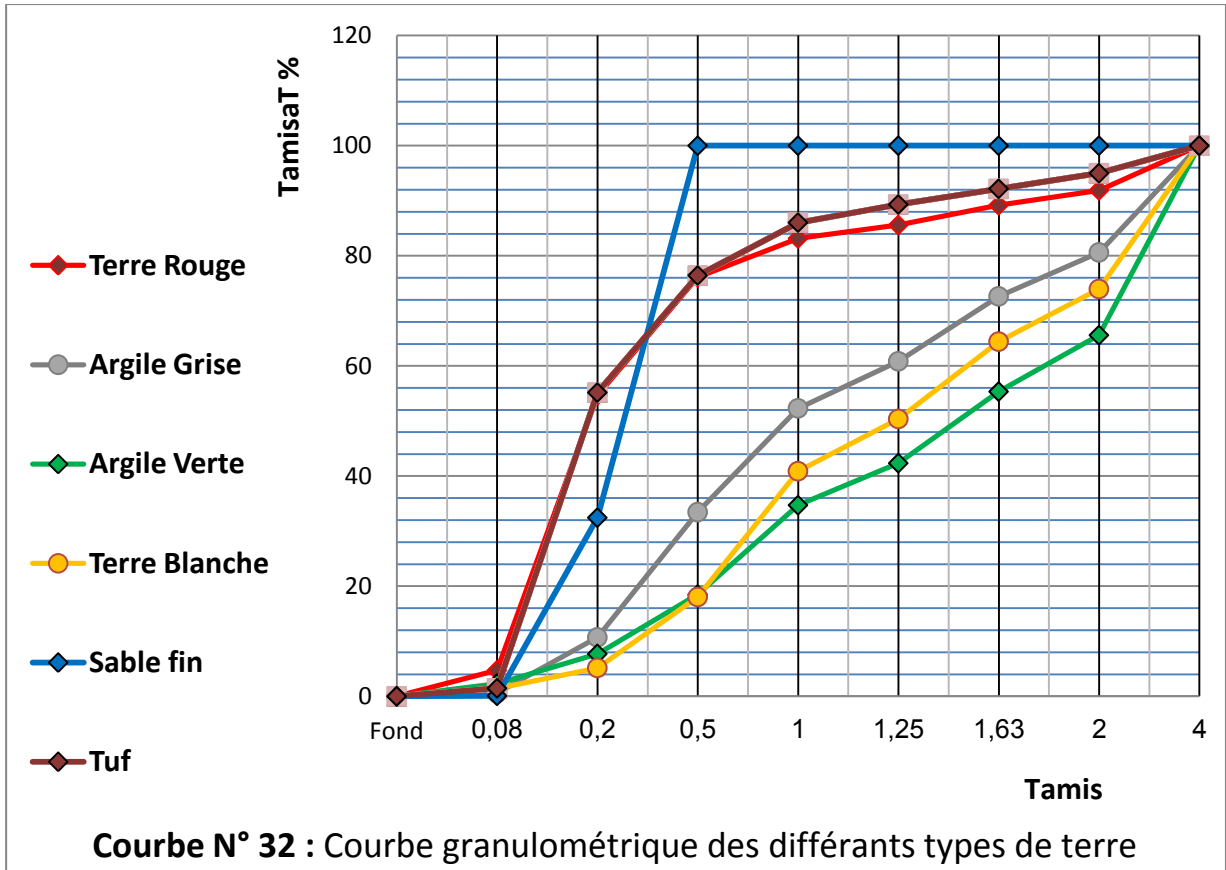
II.4.7- Analyse granulométrique du Tuf :

N°	Tamis (mm)	Processus 1	Processus 2	Processus 3	Processus moyen
1	4	0,00	0,00	0,00	0,00
2	2	54,00	46,50	49,50	50,00
3	1,63	29,50	28,00	27,50	28,33
4	1,25	28,00	27,50	30,00	28,50
5	1	35,50	32,00	31,00	32,83
6	0,5	96,50	96,00	95,50	96,00
7	0,2	179,50	224,00	234,50	212,67
8	0,08	552,00	536,50	523,00	537,17
9	Fond	25,00	9,50	9,00	14,50
		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

N°	Tamis (mm)	Refus Partiels (g)	Refus cumuli (g)		Tamisât
			(g)	(%)	(%)
1	4,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	2,00	50,00	50,00	5,00	95,00
3	1,63	28,33	78,33	7,83	92,17
4	1,25	28,50	106,83	10,68	89,32
5	1,00	32,83	139,66	13,97	86,03
6	0,50	96,00	235,66	23,57	76,43
7	0,20	212,67	448,33	44,83	55,17
8	0,08	537,17	985,50	98,55	1,45
9	Fond	14,50	1000,00	100,00	0,00

Tableau II.7 :II.10 : Analyse granulométrique du Tuf .





CHAPITRE III :
« METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES »

III .1- Plans d'expériences :

III .1.1- 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 [10].

III .1.2 - 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 les quelles 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 cout minimum . [11].

III .1.3 - Méthodologie des plans avec contrainte :

La procédure de construction des plans dont le domaine est contraint est la suivante:

1. On définit le domaine de chacun des facteurs (niveau bas et niveau haut).
2. On définit les contraintes qui pèsent sur les facteurs . Ces contraintes sont exprimées par des relations d'inégalité entre les facteurs et elles définissent les zones autorisées , c'est-à-dire celles où les expériences sont possibles , et les zones interdites , c'est-à-dire celles où les expériences ne doivent pas être exécutées .
3. On définit les niveaux des facteurs les plus intéressants pour l'étude , autres que les niveaux bas et hauts . Le plus souvent entre 2 et 5 niveaux supplémentaires par facteur.
4. On construit une grille en prenant en compte toutes les combinaisons des niveaux des facteurs . Cette grille ne doit contenir que les points expérimentaux réalistes , c'est-à-dire les points du domaine autorisé . Ces points constituent les points candidats .

III .1.4 - Les différents types de facteurs utilisés :

On exprime le premier facteur représenté par le type de terre utilisé dans le mot Terre (Terre blanche (B) , Terre Grise (G) , Terre Verte (V) , Terre Rouge (R) , et de Tuf (T)) . On exprime le second facteur dans le mot Sable Fin (%) : 25 (%) , 50 (%) et 75 (%) . On exprime aussi le troisième facteur dans le mot stabilisant (%) (ciment gris , ciment blanc (10 (%) , 20 (%) et 30 (%)) et on exprime aussi le quatrième facteur dans le mot aditifs (laine (1 %) avec (2 %) de laine de verre , charpenterie et laine de roche 5 (%) qui on l'utilisé appris désignation des deux meilleure terres selon la disponibilité , les avantages et les inconvénients des terre étudier.



Figure. III.1 : différents types de Terre

CHAPITRE IV :
**« ELABORATION D'UN MODELE
EXPERIMENTAL »**

IV.1 Introduction :

D'après la caractéristiques des différents matériaux utilisés, nous allons présenter dans ce chapitre les essais réalisées sur le mortier de terre crue et stabilisées par le ciment gris et par le ciment blanc.

IV.2 Confection des échantillons :

IV.2 .1- Introduction :

Le sujet de notre recherche nécessite la préparation de deux mélanges homogènes dont l'un est utilisé dans l'étude de la résistance à la pression mécanique , tandis que l'autre est additionné de matériaux d'origine naturelle minérale , animale ou végétale qui entravent la propagation de la chaleur tels que laine de verre , laine de roche , laine de mouton et copeaux de bois pour notre étude du comportement de la terre crue à retenir l'énergie , Notre objectif demeure Le plus important dans cette étude est de développer la matière première pour retenir la plus grande quantité d'énergie possible à travers un mélange homogène et stable grâce aux stabilisants représentés dans le ciment gris et le ciment blanc utilisés dans la préparation de nos échantillons expérimentaux.

IV.2.2 Préparation des échantillons :

IV.2.2.1 Etapes de préparation :

Après avoir préparé les moules et les avoir lubrifiés avec de l'huile moteur pour faciliter le processus d'extraction, préparé les moyens de mélange et connecté le vibreur à l'électricité, nous pesons et préparons les matières premières représentées dans le sol brut (blanc, gris, vert, rouge et tuf), le stabilisant représenté dans (ciment gris, ciment blanc) et l'eau de laboratoire utilisée dans le mélange selon les quantités et les proportions requises dans l'étude.

Nous mélangeons manuellement en petites quantités, tandis que nous utilisons le malaxeur électrique en grande quantité, en tenant compte des spécifications de mélange convenues, où nous mélangeons les matériaux secs jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène, et nous ajoutons de l'eau au besoin pour obtenir un mélange homogène et maniable. que l'on peut couler dans des moules, puis on remplit les moules en deux étapes avant d'utiliser le vibreur mécanique pour venir à l'étape de

nivellement et placer les moules remplis dans une étuve à une température constante de 65°C et une humidité de plus de 95% pendant une période de 24 heures. Le lendemain, on enlève les moules (plastique) à l'aide de la soufflerie automatique et on met les cubes obtenus dans le four précité pendant une durée de 7 jours. Ils sont pesés et placés dans un autre four sec pendant 24 heures. Ils sont à nouveau pesés pour calculons la diminution de masse, puis nous effectuons les expériences de pression mécanique et enregistrons les résultats dans des tableaux qui traduits en courbes.

IV.2.2.2 Préparation du mélange :

On fait la Préparation des mélanges utilisés dans cette étude selon les tableaux suivants dans lequel on désigne les pourcentage des facteurs come suite :

- **Facteur 01** : Type de terre (%) : (Terre blanche (B) , Terre Grise (G) , Terre Verte (V) , Terre Rouge (R) et du Tuf (T)) 25 (%) , 50 (%) , 75 (%) .
- **Facteur 02** : Sable Fin (%) : 25 (%) , 50 (%) , 75 (%) .
- **Facteur 03** : Ciment (%) : 0 (%) , 10 (%) , 20 (%) , 30 (%) .



Figure. IV.1. type de mélange

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment gris (%)
1	B	75	25	10
2	B	50	50	10
3	B	25	75	10
4	B	75	25	20
5	B	50	50	20
6	B	25	75	20
7	B	75	25	30
8	B	50	50	30
9	B	25	75	30

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment gris (%)
10	G	75	25	10
11	G	50	50	10
12	G	25	75	10
13	G	75	25	20
14	G	50	50	20
15	G	25	75	20
16	G	75	25	30
17	G	50	50	30
18	G	25	75	30

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment gris (%)
19	V	75	25	10
20	V	50	50	10
21	V	25	75	10
22	V	75	25	20
23	V	50	50	20
24	V	25	75	20
25	V	75	25	30
26	V	50	50	30
27	V	25	75	30

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment gris (%)
28	R	75	25	10
29	R	50	50	10
30	R	25	75	10
31	R	75	25	20
32	R	50	50	20
33	R	25	75	20
34	R	75	25	30
35	R	50	50	30
36	R	25	75	30

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment gris (%)
37	T	75	25	10
38	T	50	50	10
39	T	25	75	10
40	T	75	25	20
41	T	50	50	20
42	T	25	75	20
43	T	75	25	30
44	T	50	50	30
45	T	25	75	30

Tableau VI.1 : Types des mélanges.

IV.3- Essai de compression (la norme P 18-406) :

L'essai de compression est réalisé avec une Presse hydraulique pour l'essai de compression suivant la norme (**P 18-406**).

$$\sigma_c = F / S$$

F : la charge appliquée en KN.

S : section transversale de l'éprouvette ($S = a * a$).

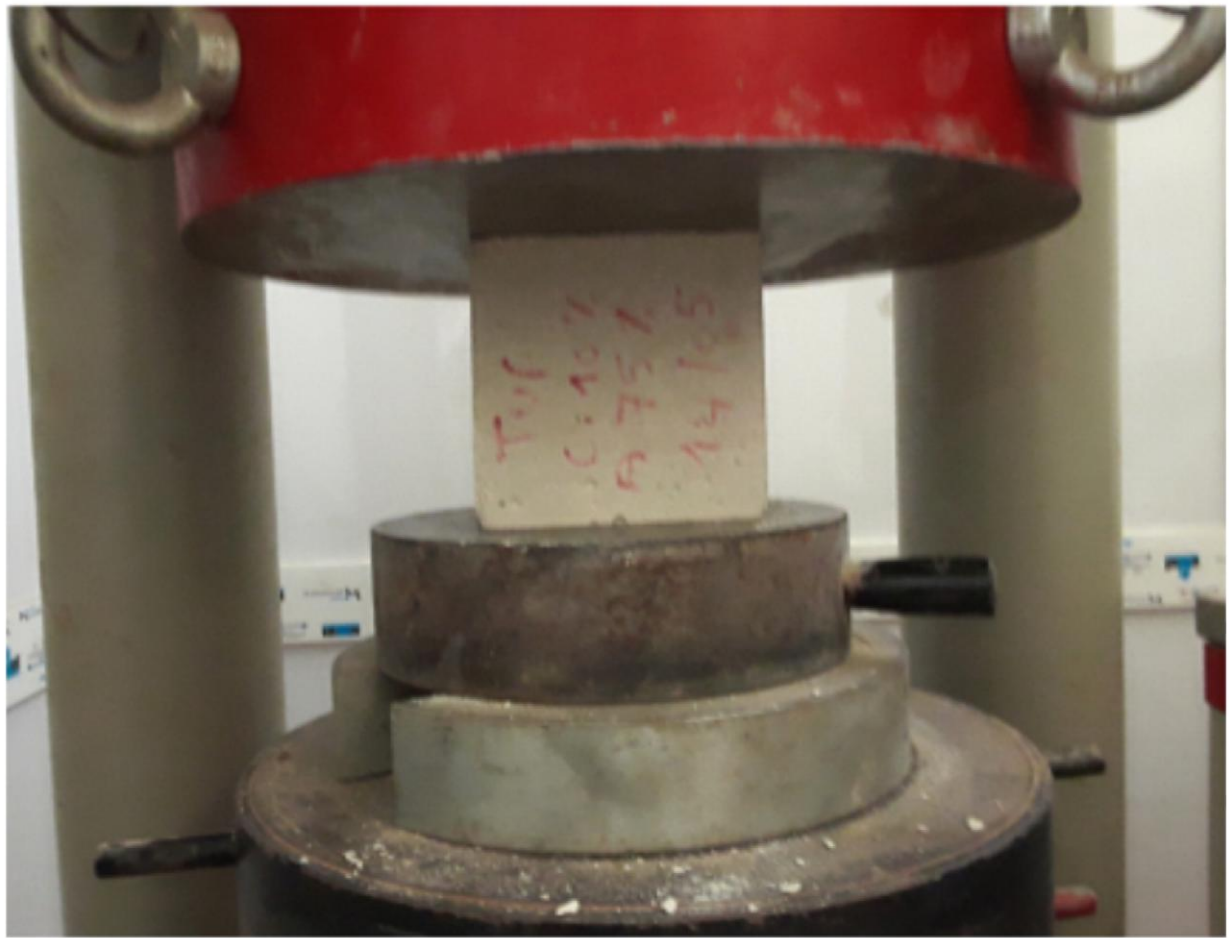


Figure IV.2 : Presse hydraulique pour l'essai de compression

IV.3.1: Résistance \bar{b} (MP)

Nous avons choisi une masse de référence (100%) pour nos calculs la masse de sol brut avec du sable, nous avons préparé des échantillons sous forme de moules (10 * 10 * 10) cm³ et les avons mis dans un four à une température de 50 degrés Celsius et une humidité de 95%, après sept jours, nous avons effectué des tests de contrainte mécanique, Et nous avons enregistré les résultats de la résistance mécanique (MP) de différent proportions de terre crue et de sable fin avec du ciment gris dans les tableaux suivants, que nous traduisons en courbes comme suit :

-Terre (100 %) , Sable fin (0 %) , Ciment gris (0 %) .

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	100	0	0	1,60
2	G	100	0	0	2,15
3	V	100	0	0	3,05
4	R	100	0	0	1,23
5	T	100	0	0	1,16

Tableau VI.2 : Résistance \bar{b} (MP) du terre crue brute (Ciment gris 0 %)

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 75 % , Sable fin 25 % et Ciment gris 10 %

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	75	25	10	1,84
2	G	75	25	10	1,01
3	V	75	25	10	1,05
4	R	75	25	10	2,21
5	T	75	25	10	4,79

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 50 % , Sable fin 50 % , Ciment gris 10 % :

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	50	50	10	2,38
2	G	50	50	10	1,23
3	V	50	50	10	1,88
4	R	50	50	10	3,69
5	T	50	50	10	5,58

M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 25 % , Sable fin 75 % , Ciment gris 10 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	Ciment gris (%)	Résistance $\bar{\sigma}$ (MP)
1	B	25	75	1,18
2	G	25	75	0,56
3	V	25	75	1,31
4	R	25	75	1,57
5	T	25	75	3,79

Tableau VI.3 : Résistance $\bar{\sigma}$ (MP) (Ciment gris 10 %)

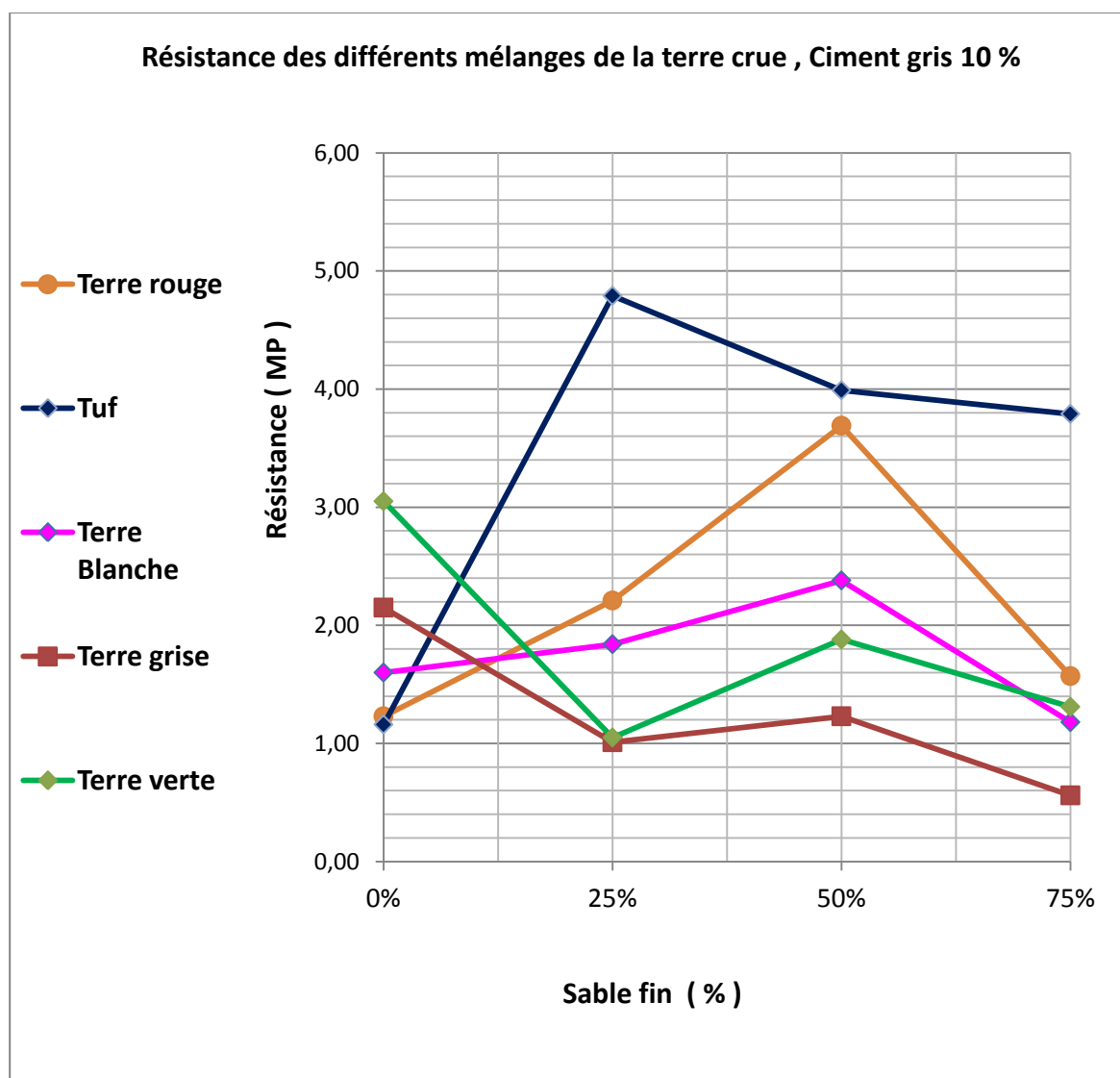


Figure IV.3 : Courbes de la résistance $\bar{\sigma}$ (MP) (Ciment gris 10 %)

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 75 % , Sable fin 25 % , Ciment gris 20 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	75	20	3,71
2	G	75	20	3,57
3	V	75	20	3,87
4	R	75	20	6,06
5	T	75	20	6,52

- M (Teere + Sable fin) 100 % , Terre 50 % , Sable fin 50 % , Ciment gris 20 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	50	20	3,39
2	G	50	20	1,77
3	V	50	20	2,12
4	R	50	20	4,10
5	T	50	20	6,87

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 25 % , Sable fin 75 % , Ciment gris 20 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	25	20	5,44
2	G	25	20	4,22
3	V	25	20	3,67
4	R	25	20	8,06
5	T	25	20	9,96

Tableau II.4 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 20 %)

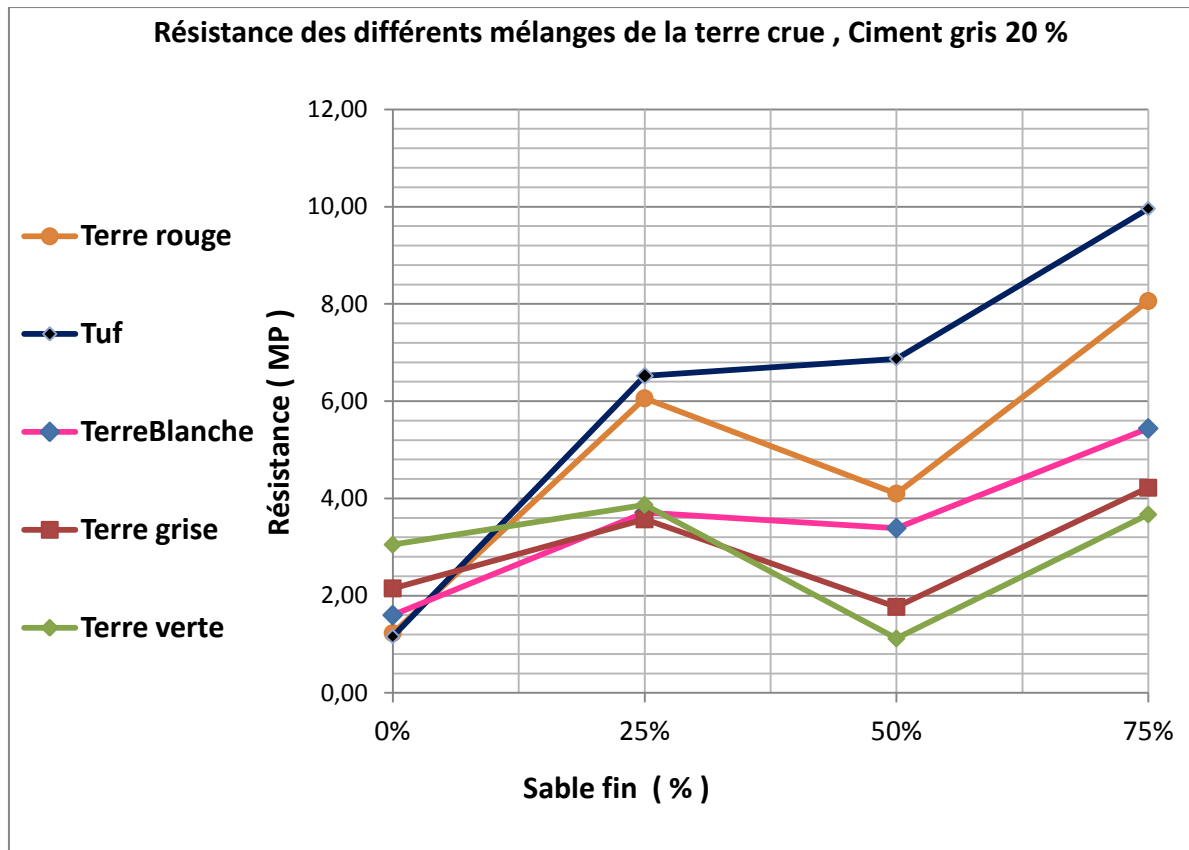


Figure IV.4 : Courbes de la résistance \bar{b} (MP) (Ciment gris 20 %)

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 75 % , Sable fin 25 % , Ciment gris 30 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	75	30	5,61
2	G	75	30	5,02
3	V	75	30	4,72
4	R	75	30	8,80
5	T	75	30	10,43

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 50 % , Sable fin 50 % , Ciment gris 30 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	50	30	8,55
2	G	50	30	6,86
3	V	50	30	6,79
4	R	50	30	8,93
5	T	50	30	11,08

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 25 % , Sable fin 75 % , Ciment gris 30 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	ciment gris (%)	Résistance f_b (MP)	
1	B	25	75	30	8,61
2	G	25	75	30	7,24
3	V	25	75	30	7,91
4	R	25	75	30	11,70
5	T	25	75	30	13,50

Tableau II.5 : Résistance f_b (MP) (Ciment gris 30 %)



Figure IV.5 : un type de mélange

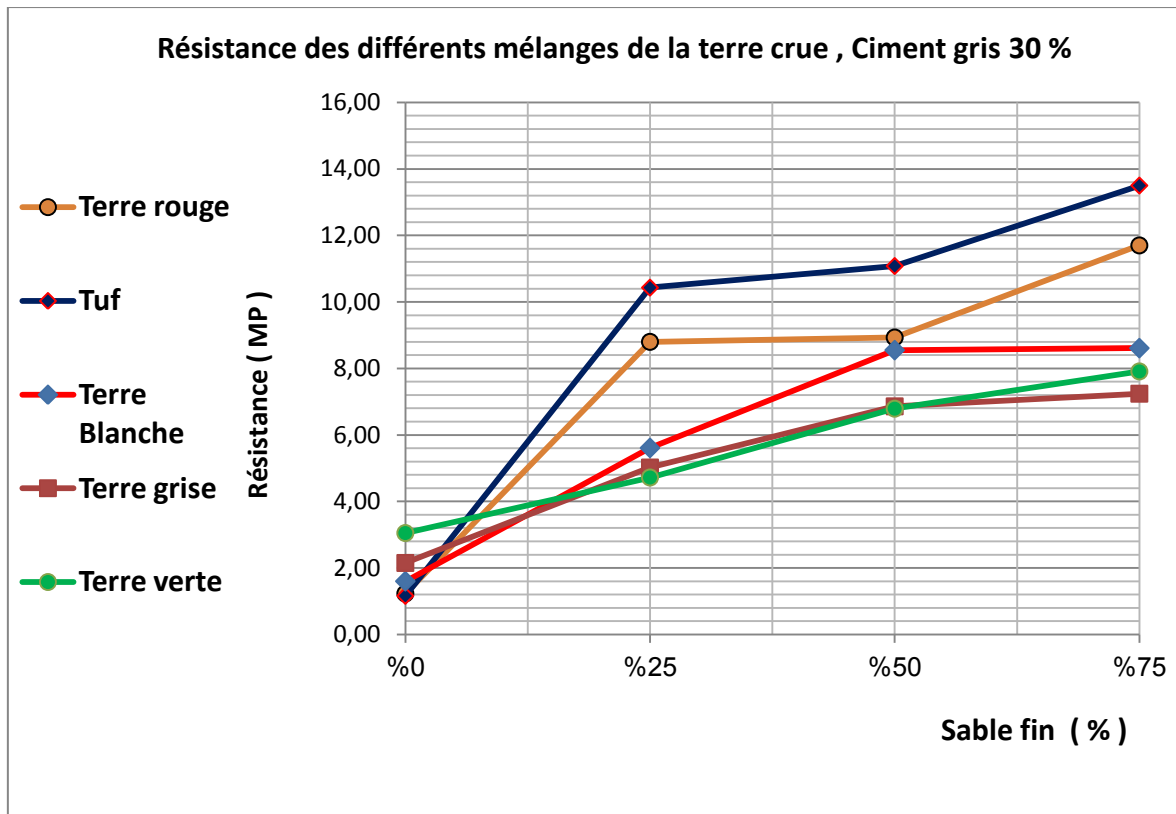


Figure IV.6 : Courbes de la résistance $\bar{\sigma}$ (MP) (Ciment gris 30 %)

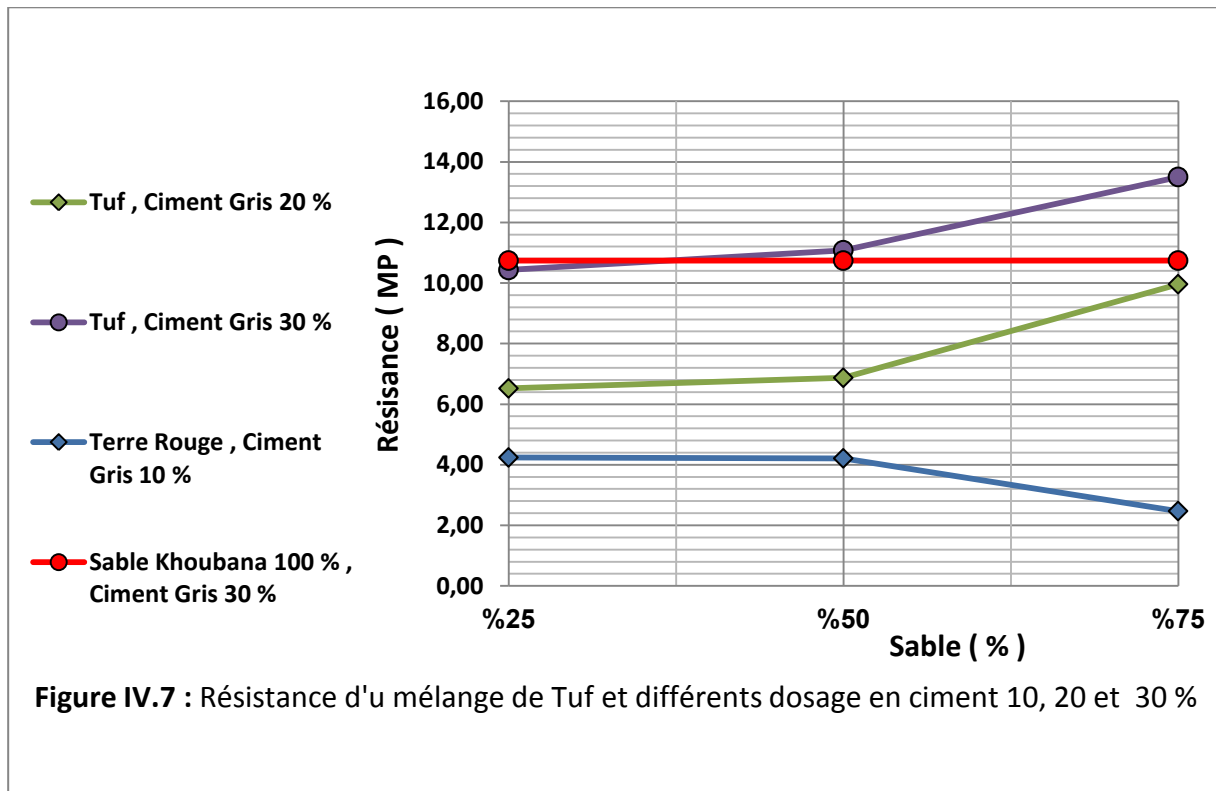


Figure IV.7 : Résistance d'u mélange de Tuf et différents dosage en ciment 10, 20 et 30 %

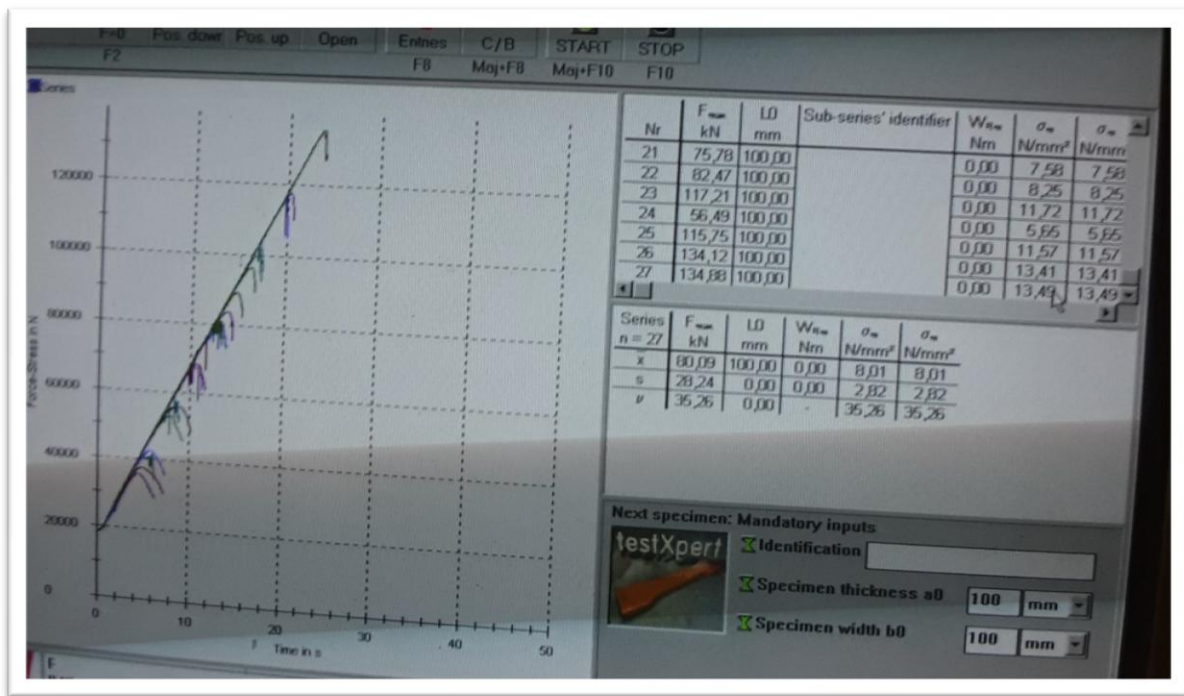
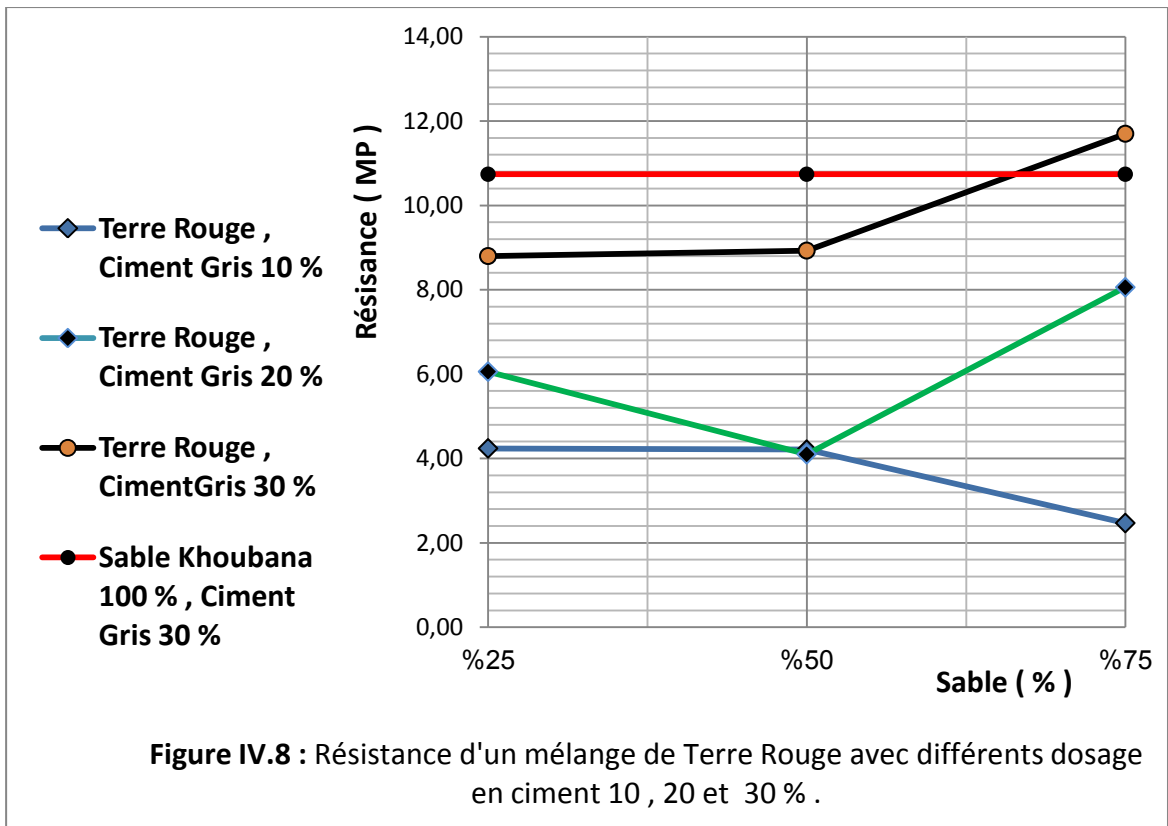
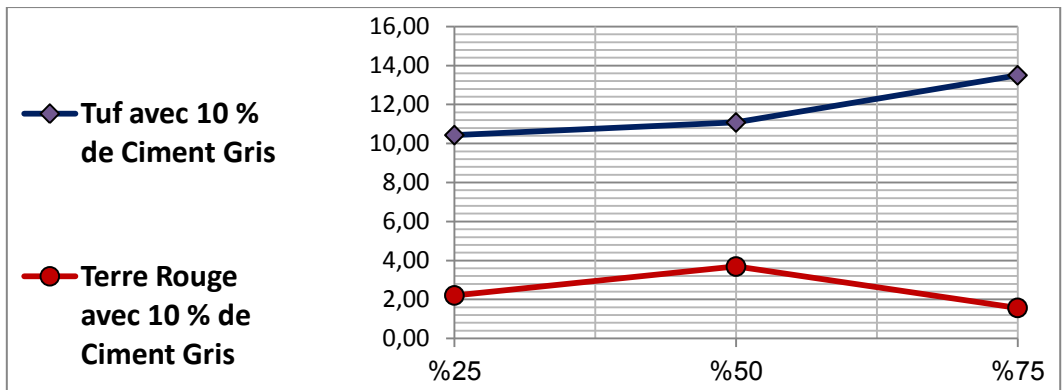
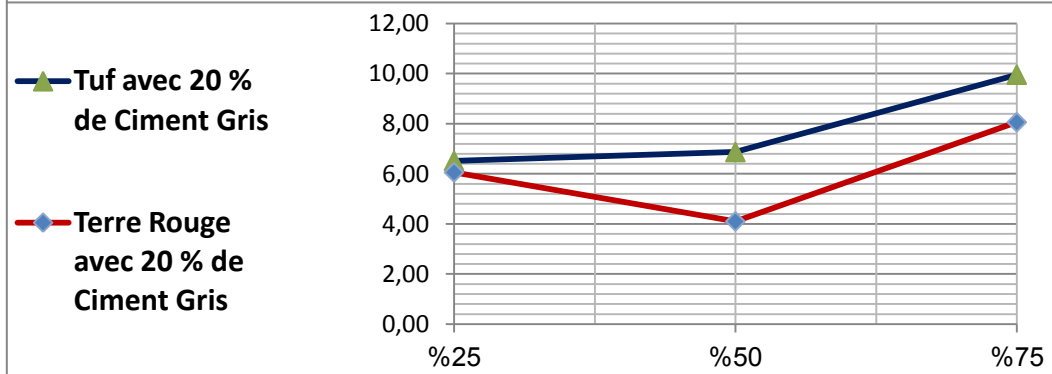


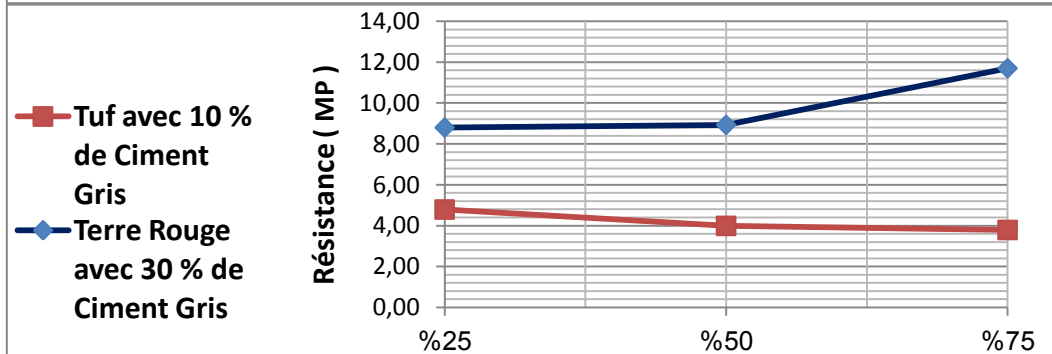
Figure IV.9 : Quelques essais de la compression



Courbes comparatifs du Tuf et de Terre Rouge avec Ciment Gris de 10 %



Courbes comparatifs du Tuf et de Terre Rouge avec Ciment Gris de 20 %



Courbes comparatifs du Tuf et de Terre Rouge avec Ciment Gris de 30 %

Figure IV.10: Courbes comparatifs du Tuf et de T/Rouge avec Ciment Gris de 10, 20 et 30%

IV.3.2 - Plan factoriel à plusieurs niveaux

Facteurs : 3 Répliques : 1

Essais de base : 45 Nombre total d'essais : 45

Blocs de base : 1 Nombre total de blocs : 1

Nombre de niveaux : 5 ; 3 ; 3

Régression factorielle générale :

Résistance en fonction de type de terre ; % sable ; % ciment

IV.3.3 - Informations sur les facteurs :

Facteur	Niveaux	Valeurs
type de terre	5	Blanche ; Grise ; Verte ; Rouge ; Tuf
% sable	3	25% ; 50% ; 75%
% ciment	3	10% ; 20% ; 30%

IV.3.4 - Analyse de variance :

Source	DL	SomCa r ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Modèle	44	470,796	10,700	-	-
Linéaire	8	424,896	53,112	-	-
type de terre	4	124,691	31,173	-	-
% sable	2	14,422	7,211	-	-
% ciment	2	285,782	142,891	-	-
Interactions à 2 facteur(s)	20	38,406	1,920	-	-
type de terre*%sable	8	3,115	0,389	-	-
type de terre*%ciment	8	7,529	0,941	-	-
% sable * % ciment	4	27,762	6,941	-	-
Interactions à 3 facteur(s)	16	7,493	0,468	-	-
type de terre * % sable * % ciment	16	7,493	0,468	-	-
Total	44	470,796			

IV.3.5 - Récapitulatif du modèle :

S	R carré	R carré (ajust)	R carré (prév)
-	100,00 %	-	-

IV.3.5 - Coefficients :

Terme	Coef	ErT	Val.de T	Val.de p	FIV
Constante	5,167	*	*	*	
type de terre					
BLANCHE	-0,6438	*	*	*	1,60
GRISE	-1,630	*	*	*	1,60
VERTE	-1,463	*	*	*	1,60
ROUGE	0,9573	*	*	*	1,60
%sable					
25%	-0,6044	*	*	*	1,33
50%	-0,1524	*	*	*	1,33
%ciment					
10%	-2,938	*	*	*	1,33
20%	-0,2784	*	*	*	1,33
type de terre*sable					
BLANCHE 25%	-0,1989	*	*	*	2,13
BLANCHE 50%	0,4024	*	*	*	2,13
GRISE 25%	0,3378	*	*	*	2,13
GRISE 50%	-0,09756	*	*	*	2,13
VERTE 25%	0,1200	*	*	*	2,13
VERTE 50%	0,04467	*	*	*	2,13
ROUGE 25%	0,1700	*	*	*	2,13
ROUGE 50%	-0,3987	*	*	*	2,13
type de terre*ciment					
BLANCHE 10%	0,2144	*	*	*	2,13
BLANCHE 20%	-0,06489	*	*	*	2,13
GRISE 10%	0,4511	*	*	*	2,13
GRISE 20%	-0,0715	*	*	*	2,13
VERTE 10%	0,6533	*	*	*	2,13
VERTE 20%	-0,2060	*	*	*	2,13
ROUGE 10%	-0,6967	*	*	*	2,13
ROUGE 20%	0,2273	*	*	*	2,13
%sable*ciment					
25% 10%	0,4011	*	*	*	1,78
25% 20%	0,4618	*	*	*	1,78
50% 10%	0,8751	*	*	*	1,78
50% 20%	-1,086	*	*	*	1,78
type de terre*sable*ciment					
BLANCHE 25% 10%	0,4422	*	*	*	2,84
BLANCHE 25% 20%	-0,1284	*	*	*	2,84
BLANCHE 50% 10%	-0,5451	*	*	*	2,84
BLANCHE 50% 20%	0,04622	*	*	*	2,84

GRISE 25% 10%	0,03556	*	*	*	2,84
GRISE 25% 20%	0,1882	*	*	*	2,84
GRISE 50% 10%	-0,4451	*	*	*	2,84
GRISE 50% 20%	-0,08044	*	*	*	2,84
VERTE 25% 10%	-0,2667	*	*	*	2,84
VERTE 25% 20%	0,6727	*	*	*	2,84
VERTE 50% 10%	-0,3073	*	*	*	2,84
VERTE 50% 20%	0,09400	*	*	*	2,84
ROUGE 25% 10%	-0,2467	*	*	*	2,84
ROUGE 25% 20%	-0,04067	*	*	*	2,84
ROUGE 50% 10%	0,8760	*	*	*	2,84
ROUGE 50% 20%	-0,3360	*	*	*	2,84

IV.3.6 - Equation de régression :

RÉSISTANCE = 5,167 - 0,6438 type de terre_BLANCHE 1,630 type de terre_GRISE- 1,463 type de terre_VERTE + 0,9573 type de terre_ROUGE + 2,780 type de terre_TUF - 0,6044 %sable_25% - 0,1524 %sable_50% + 0,7569 %sable_75% - 2,938 % ciment _ 10% - 0,2784 %ciment_20% + 3,216 %ciment_30% - 0,1989 type de terre* %sable _ BLANCHE 25% + 0,4024 type de terre* %sable_BLANCHE 50% - 0,2036 type de terre* %sable_BLANCHE 75% + 0,3378 type de terre* %sable_GRISE 25% - 0,09756 type de terre*%sable_GRISE 50%- 0,2402 type de terre* %sable_GRISE 75% + 0,1200 type de terre*%sable_VERTE 25% + 0,04467 type de terre* %sable_VERTE 50% - 0,1647 type de terre*%sable_VERTE 75%+ 0,1700 type de terre* %sable _ROUGE 25% - 0,3987 type de terre*%sable_ROUGE 50%+ 0,2287 type de terre* %sable_ ROUGE 75% - 0,4289 type de terre*%sable_TUF 25% + 0,04911 type de terre*%sable_TUF 50% + 0,3798 type de terre*%sable_TUF 75% + 0,2144 type de terre*%ciment_BLANCHE10% - 0,06489 type de terre*%ciment_BLANCHE 20% - 0,1496 type de terre*%ciment_BLANCHE 30% + 0,4511 type de terre*%ciment_GRISE 10% -0,07156 type de terre*%ciment_GRISE 20% - 0,3796 type de terre*%ciment_GRISE 30% + 0,6533 type de terre* %ciment_VERTE 10% - 0,2060 type de terre*%ciment_VERTE 20%- 0,4473 type de terre* %ciment_VERTE 30% - 0,6967 type de terre*%ciment_ROUGE10% + 0,2273 type de terre*%ciment_ROUGE 20% + 0,4693 type de terre* %ciment_ROUGE 30% - 0,6222 type de terre*%ciment_TUF 10% + 0,1151 type de terre* %ciment_TUF 20% + 0,5071 type de terre*%ciment_TUF 30% + 0,4011 %sable* %ciment_25% 10% + 0,4618 %sable* %ciment _25% 20% - 0,8629 %sable* %ciment_ 25% 30% + 0,8751 %sable*%ciment_50% 10% - 1,086 %sable *%ciment_50% 20% + 0,2111 %sable*%ciment_50% 30% - 1,276 %sable*%ciment_75% 10% + 0,6244 %sable*%ciment_75% 20%+ 0,6518 %sable*%ciment_75% 30% + 0,4422 type de terre *%sable*%ciment_BLANCHE 25% 10% - 0,1284 type de terre* %sable* %ciment _BLANCHE 25% 20% - 0,3138 type de terre* %sable* %ciment_BLANCHE 25% 30% - 0,5451 type de terre* %sable*%ciment_ BLANCHE 50% 10% + 0,04622 type de terre*%sable*%ciment_BLANCHE 50% 20% + 0,4989 type de terre* %sable*%ciment_BLANCHE 50% 30%+ 0,1029 type de terre*%sable*%ciment_BLANCHE 75% 10% + 0,08222 type de terre* %sable*%ciment_BLANCHE 75% 20% -0,1851 type de terre*

%sable*ciment_BLANCHE 75% 30% + 0,03556 type de terre*sable*ciment_GRISE 25% 10%
 + 0,1882 type de terre*sable*ciment_GRISE 25% 20% - 0,2238 type de terre*sable* %ciment
 _GRISE 25% 30%- 0,4451 type de terre*sable*ciment_GRISE 50% 10% 0,08044 type de terre*
 %sable*ciment_GRISE 50% 20% + 0,5256 type de terre*sable*ciment_GRISE 50% 30%
 + 0,4096 type de terre*sable*ciment_GRISE 75% 10% - 0,1078 type de terre*sable* %ciment
 _GRISE 75% 20% - 0,3018 type de terre*sable*ciment_GRISE 75% 30%- 0,2667 type de terre*
 %sable*ciment_VERTE 25% 10% + 0,6727 type de terre*sable*ciment_VERTE 25% 20% -
 0,4060 type de terre*sable*ciment_VERTE 25% 30% - 0,3073 type de terre* %sable* %ciment
 _VERTE 50% 10% + 0,09400 type de terre*sable*ciment_VERTE 50% 20% + 0,2133 type de
 terre* %sable*ciment_VERTE 50% 30%+ 0,5740 type de terre*sable*ciment_VERTE 75% 10%
 - 0,7667 type de terre*sable*ciment_VERTE 75% 20% + 0,1927 type de terre*sable* %ciment_
 VERTE 75% 30%- 0,2467 type de terre*sable*ciment_ROUGE 25% 10% - 0,04067
 type de terre*sable*ciment_ROUGE 25% 20% + 0,2873 type de terre*sable*ciment_ ROUGE
 25% 30%+ 0,8760 type de terre*sable*ciment_ROUGE 50% 10% - 0,3360 type de
 terre*sable*ciment_ROUGE 50% 20% - 0,5400 type de terre*sable*ciment_ROUGE 50%
 30%- 0,6293 type de terre*sable*ciment_ROUGE 75% 10% + 0,3767 type de terre*sable*
 %ciment_ROUGE 75% 20% + 0,2527 type de terre*sable*ciment_ROUGE 75% 30%+ 0,03556
 type de terre*sable*ciment_TUF 25% 10% - 0,6918 type de terre*sable*ciment_TUF 25%
 20% + 0,6562 type de terre*sable*ciment_TUF 25% 30% + 0,4216 type de terre*sable*
 %ciment_ TUF 50% 10% + 0,2762 type de terre*sable*ciment_TUF 50% 20% - 0,6978 type de
 terre* %sable*ciment_TUF 50% 30%- 0,4571 type de terre*sable*ciment_TUF 75% 10%
 + 0,4156 type de terre*sable*ciment_TUF 75% 20% + 0,04156 type de terre*sable* %ciment_
 TUF 75% 30%

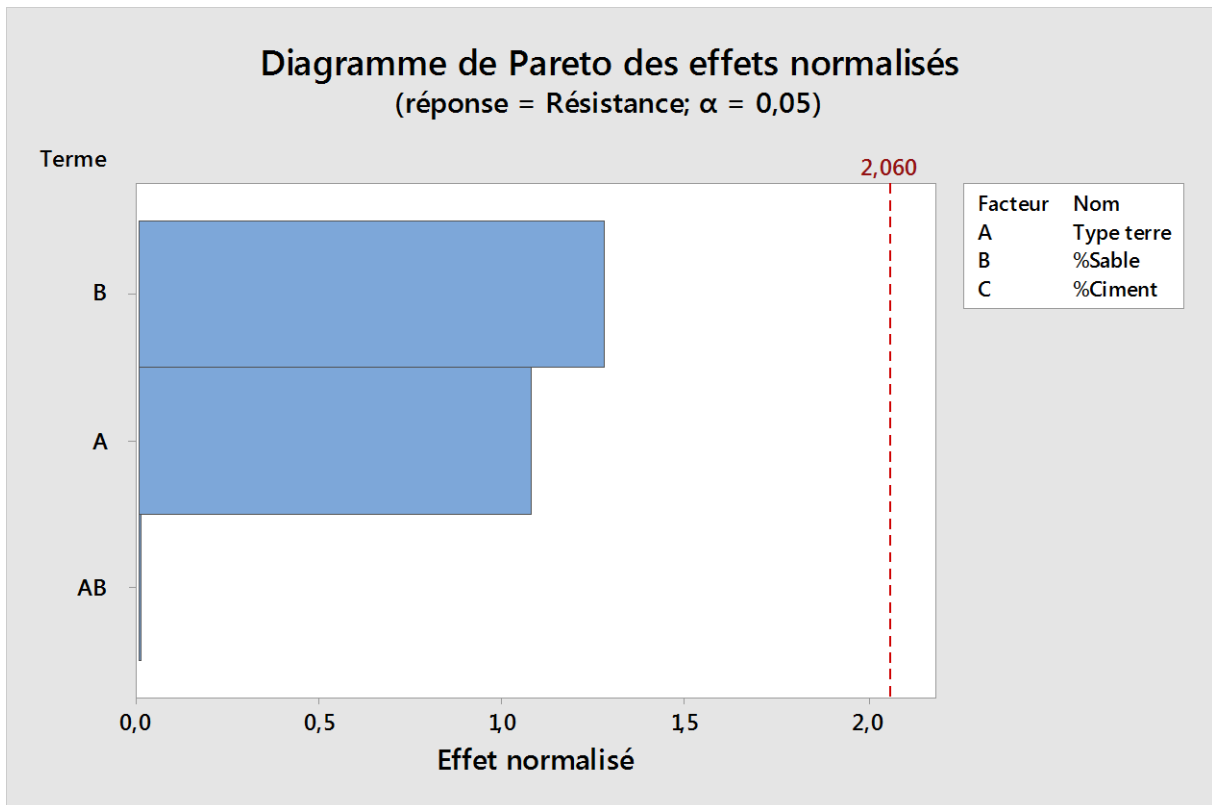


Figure IV.11 : Diagramme de Pareto des effets normalisés (ciment gris).

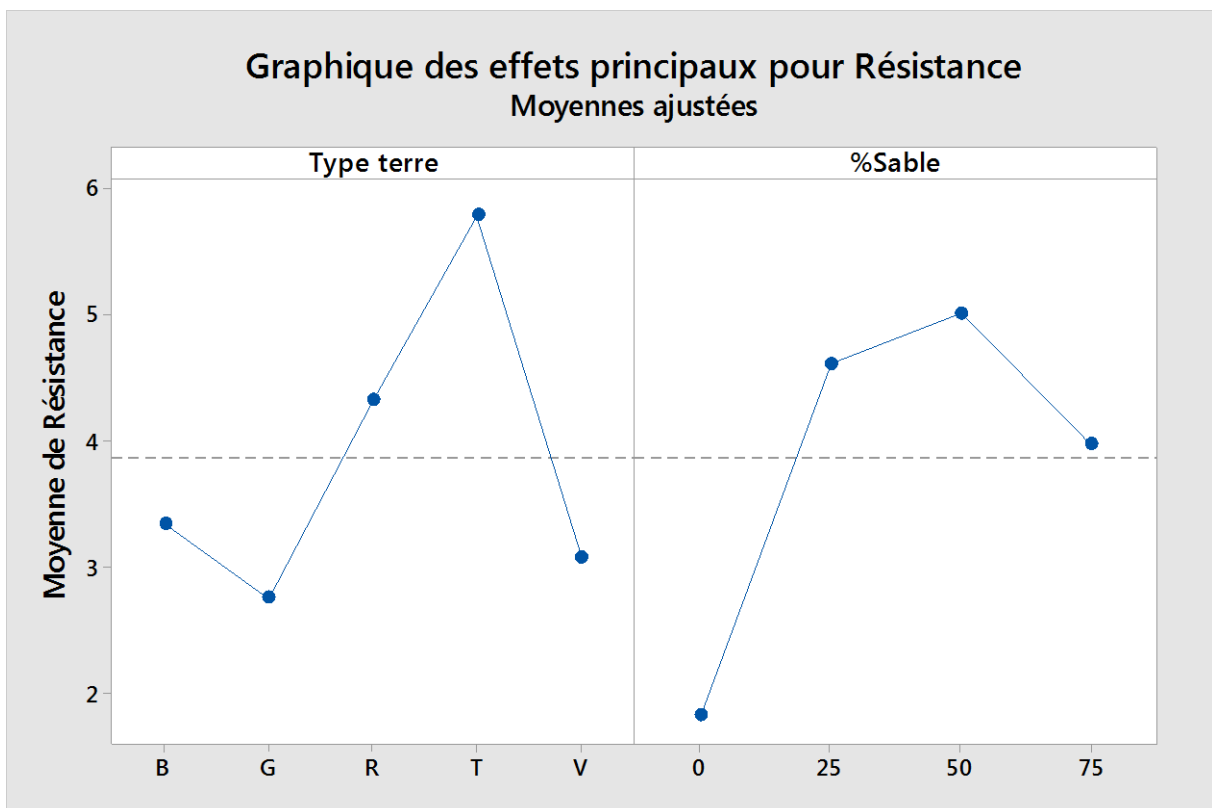


Figure IV.12 : Graphique des effets principaux pour Résistance (ciment gris).

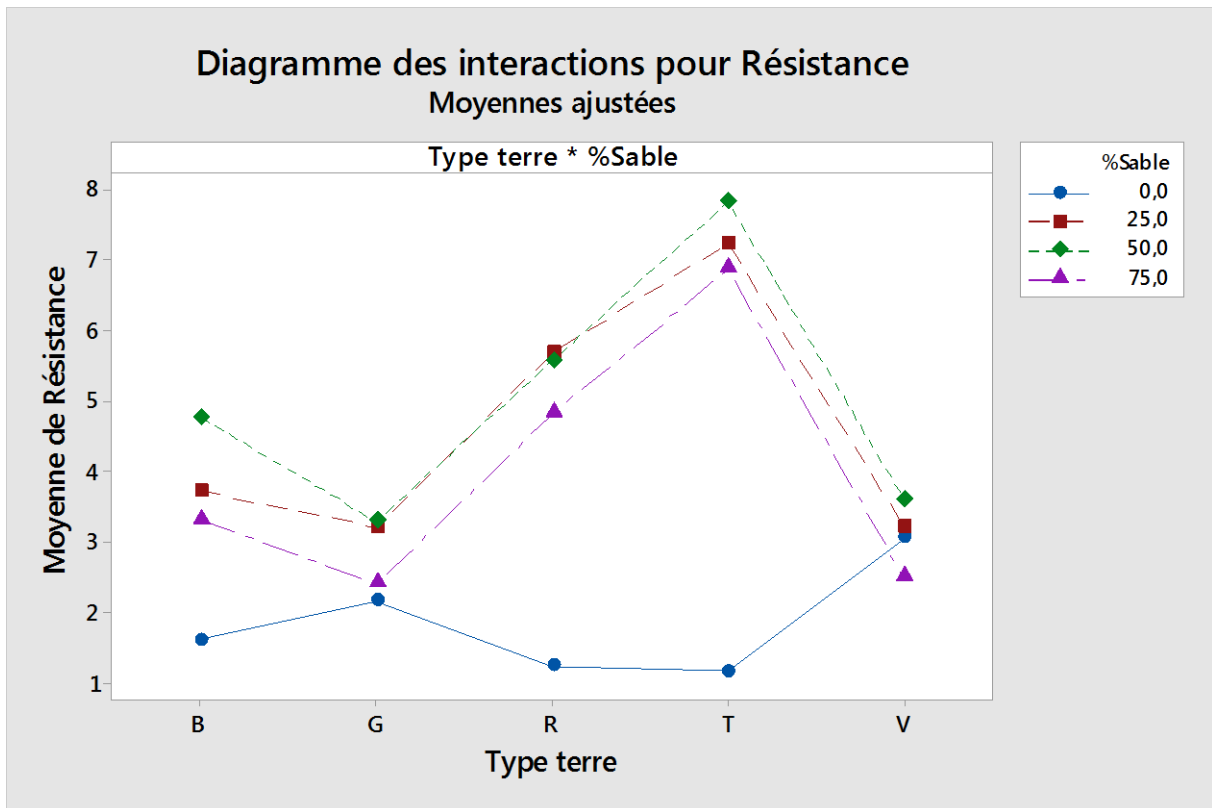


Figure IV.13 : Diagramme des interactions pour Résistance (ciment gris) .

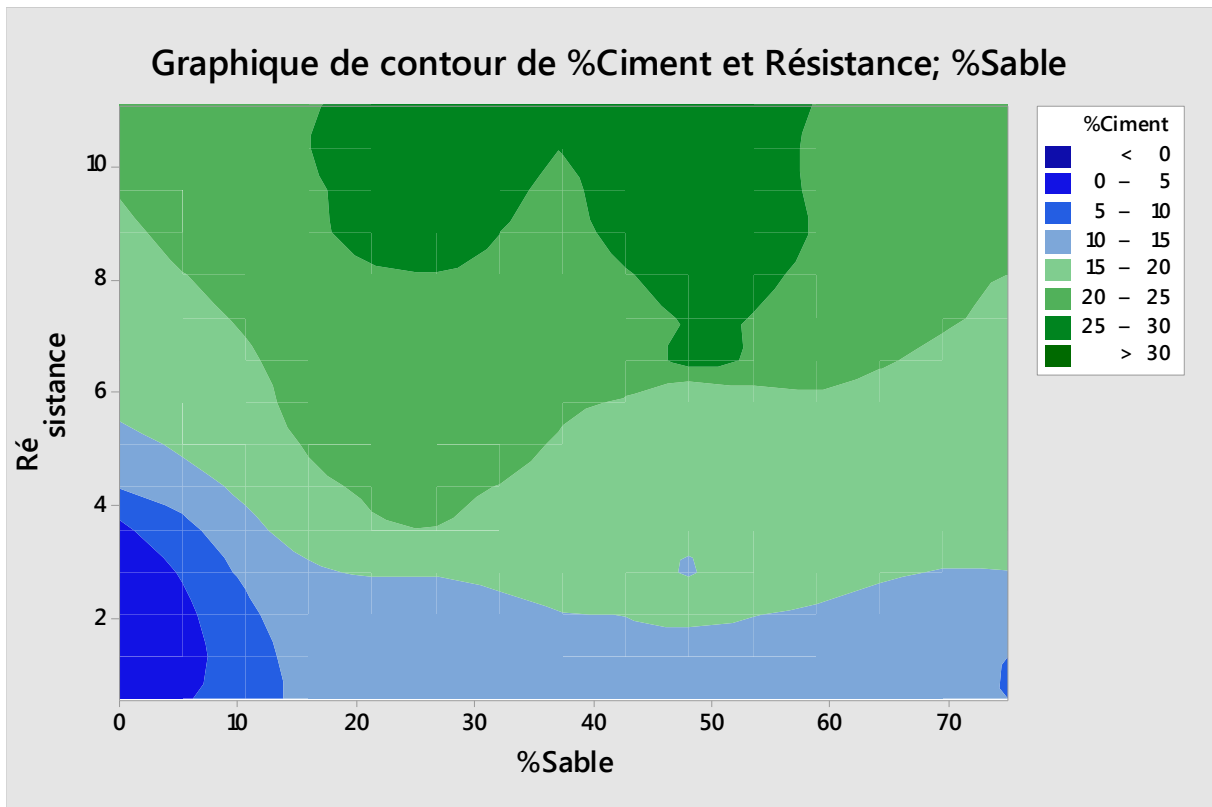


Figure IV.14 : Graphique de contour de %Ciment et Résistance ; %Sable (c/ gris) .

Nuage de points en 3D de Résistance et %Ciment et %Sable

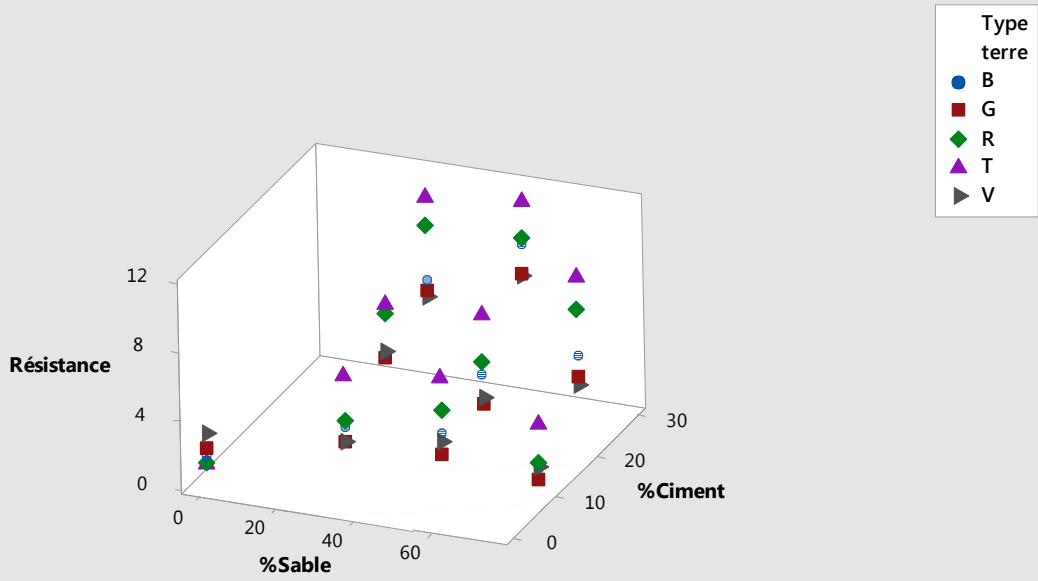


Figure IV.15 : Nuage de points en 3D de Résistance , %Ciment et %Sable (c/ gris)

Diagramme de surface de Résistance et %Ciment; %Sable

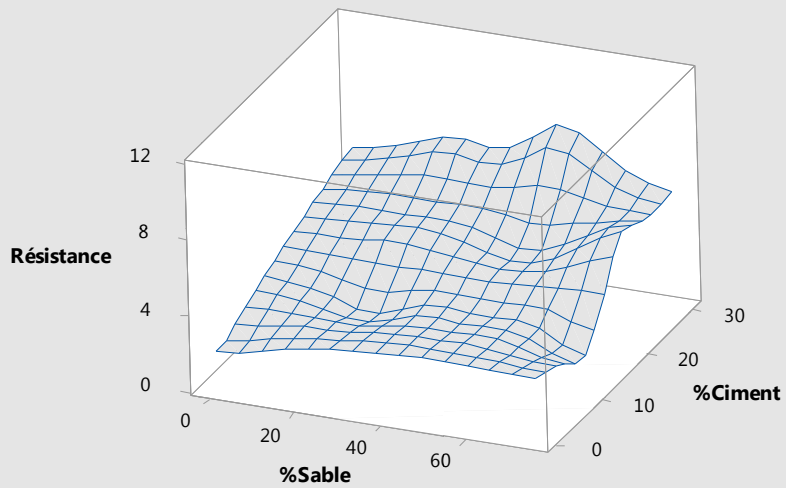


Figure IV.16 : Diagramme de surface de Résistance et %Ciment ; %Sable (c/ gris)

IV.3.7- Remarques :

Après avoir réalisé le processus de malaxage manuellement et en utilisant un mélange de terre crue dans des proportions variables avec du ciment , nous avons enregistré de nombreuses observations grâce auxquelles la terre crue peut être initialement agencée en termes de disponibilité , de facilité de malaxage et de résistance à la compression mécanique :

- Le Tuf et la terre rouge blues disponible que la terre blanche , grise et verte .
- La terre blanche (T1) était relativement pétrissable par rapport à les pates des terres grise (T2) et la terre verte (T3) qui sont un peut difficiles à pétrir .
- La Terre rouge (T4) était la plus facile de pétrir par rapport à les trois autres types de terre (T1 , T2 et T3).
- Le Tuf (T5) est le plus facile de tout mais de courte durée en raison de sa soif d'eau .
- La résistance mécanique augmente progressivement celons l'augmentation du pourcentage du ciment ajouté dans le cas de terre blanche , rouge et de tuf , alors que nous avons constaté une décroissant (diminution) dans le cas du pourcentage de 10 % du ciment par rapport au terre sons additifs de terre grise (T2) et de terre verte (T3) dans le cas de 75 % de terre par rapport à 25 % du Sable fin .

De ces observations et à l'aide d'un tableau proportionnel on fait une comparaison relative ont conduit à l'arrangement sous de sous :

N°	Type de terre	Disponibilité	Facilité de malaxage	Résistance (MP)	Notation
01	Tuf	++	+	+	4+
02	Terre rouge	+	+	+	3+
03	Terre blanche	-	+	+	2+, 1-
04	Terre grise	-	-	-	3-
05	Terre verte	-	-	-	3-

Tableau VI.6 : Tableaux comparatif

Selon le tableau précédent , notre type de terre a été comparativement classé du meilleur au pire comme suit :

01 –Tuf , 02 -Terre rouge , 03 -Terre blanche , 04 -Terre grise et 05 -Terre verte

IV.4 - Préparation d'un mélange (ciment blanc) :

IV.4.1 - Introduction :

D'après les remarque précédentes on prendre les trois premières type de terre Tuf , Terre rouge , et la Terre blanche , on fait les même essais de ciment gri avec le ciment blanc. Nous avons fait aussi les études à l'aide d'un logiciel Minitab (méthode de plan d'expérience) , on a choisi les facteurs présenté comme suiute :

- Facteur 01 : Type de terre (%) : Terre blanche (B) ,Terre Rouge (R) et du Tuf (T) du pourcentage de 25 (%) , 50 (%) et 75 (%) .
- Facteur 02 : Sable Fin (%) du pourcentage de 25 (%) , 50 (%) et 75 (%) .
- Facteur 03 : Ciment blanc (%) du pourcentage de 10 (%) , 20 (%) et 30 (%)

IV.4.2 - Type de mélange :

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

1- terre Blanche (B)

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)
1	B	75	25	10
2	B	50	50	10
3	B	25	75	10
4	B	75	25	20
5	B	50	50	20
6	B	25	75	20
7	B	75	25	30
8	B	50	50	30
9	B	25	75	30

1- terre Rouae (R)

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)
28	R	75	25	10
29	R	50	50	10
30	R	25	75	10
31	R	75	25	20
32	R	50	50	20
33	R	25	75	20
34	R	75	25	30
35	R	50	50	30
36	R	25	75	30

1- Tuf (T)

N°	Type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)
37	T	75	25	10
38	T	50	50	10
39	T	25	75	10
40	T	75	25	20
41	T	50	50	20
42	T	25	75	20
43	T	75	25	30
44	T	50	50	30
45	T	25	75	30

Tableau VI.7 : Types des mélanges (ciment blanc)

IV.4.3 - Régression factorielle générale :

Résistance en fonction de type de terre ; Sable Fin (%) ; Ciment Blanc (%).

IV.4.3.1- Informations sur les facteurs :

Facteur	Niveaux	Valeurs
type de terre	3	Blanche (B) ; Rouge (R) ; Tuf (T)
Sable Fin (%)	3	25 % ; 50 % ; 75 %
Ciment Blanc	3	10 % ; 20 % ; 30 %

IV.4.3.2- Analyse de variance :

Source	DL	SomCar ajust	CM ajus	Val/F	Val/p
Modèle	26	416,93	16,036	*	*
Linéaire	6	332,59	55,431	*	*
type de terre	2	13,44	6,721	*	*
Sable Fin (%)	2	13,76	6,881	*	*
Ciment Blanc	2	305,38	152,692	*	*
Interactions à 2 facteur(s)	12	73,14	6,095	*	*
type de terre*Sable Fin (%)	4	21,48	5,371	*	*
type de terre*Ciment Blanc	4	19,11	4,777	*	*
Sable Fin (%)*Ciment Blanc	4	32,55	8,138	*	*
Interactions à 3 facteur(s)	8	11,20	1,400	*	*
T de terre*S/Fin (%)*C/ Blanc	8	11,20	1,400	*	*
Erreur	0	*	*		
Total	26	416,93			

IV.4.3.3- Récapitulatif du modèle :

S	R carré	R carré (ajust)	R carré (prév)
*	100,00%	*	*

IV.4.3.4- Coefficients :

Terme	Coeff	Coef ErT	Valeur de T	Valeur de p	FIV
Constante	6,699	*	*	*	
type de terre					
Blanche (B)	-0,9141	*	*	*	1,33
Rouge (R)	0,1104	*	*	*	1,33
Sable Fin (%)					
25 %	-1,010	*	*	*	1,33
50 %	0,5093	*	*	*	1,33
Ciment Blanc					
10 %	-3,702	*	*	*	1,33
20 %	-0,7352	*	*	*	1,33

type de terre*Sable Fin (%)

Blanche (B) 25 %	-0,0181	*	*	*	1,78
Blanche (B) 50 %	0,9896	*	*	*	1,78
Rouge (R) 25 %	1,201	*	*	*	1,78
Rouge (R) 50 %	-1,028	*	*	*	1,78

type de terre*Ciment Blanc

Blanche (B) 10 %	0,2741	*	*	*	1,78
Blanche (B) 20 %	0,5907	*	*	*	1,78
Rouge (R) 10 %	0,5330	*	*	*	1,78
Rouge (R) 20 %	0,2730	*	*	*	1,78

Sable Fin (%) *Ciment Blanc

25 % 10 %	1,140	*	*	*	1,78
25 % 20 %	0,8463	*	*	*	1,78
50 % 10 %	-0,1993	*	*	*	1,78
50 % 20 %	0,004074	*	*	*	1,78

type de terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc

Blanche (B) 25 % 10 %	-0,03852	*	*	*	2,37
Blanche (B) 25 % 20 %	0,001481	*	*	*	2,37
Blanche (B) 50 % 10 %	-0,7363	*	*	*	2,37
Blanche (B) 50 % 20 %	-0,1930	*	*	*	2,37
Rouge (R) 25 % 10 %	-0,7307	*	*	*	2,37
Rouge (R) 25 % 20 %	0,6259	*	*	*	2,37
Rouge (R) 50 % 10 %	1,288	*	*	*	2,37
Rouge (R) 50 % 20 %	0,008148	*	*	*	2,37

IV.4.3.5- Equation de régression :

Résistance = 6,699 - 0,9141 type de terre_Blanche (B) +0,1104 type de terre_Rouge (R)+ 0,8037 type de terre_Tuf (T) -1,010 Sable Fin (%)_25 %+ 0,5093 Sable Fin (%)_50 % + 0,5004 Sable Fin (%)_75 % - 3,702 Ciment Blanc_10% -0,7352 Ciment Blanc_20%+ 4,437 Ciment Blanc_30%- 0,01815 type de terre*Sable Fin (%)_Blanche (B) 25%+ 0,9896 type de terre* Sable Fin (%)_Blanche (B) 50 % - 0,9715 type de terre *Sable Fin (%)_Blanche (B) 75 %+ 1,201 type de terre* Sable Fin (%)_Rouge (R) 25 % - 1,028 type de terre* Sable Fin (%)_Rouge (R) 50 %-0,1726 type de terre* Sable Fin (%)_Rouge (R) 75 %-1,183 type de terre*Sable Fin (%)_Tuf(T) 25 % + 0,03852 type de terre*Sable Fin (%)_Tuf (T) 50 % + 1,144 type de terre*Sable Fin (%)_Tuf (T) 75 % + 0,2741 type de terre* Ciment Blanc_Blanche (B) 10 % + 0,5907 type de terre* Ciment Blanc_Blanche (B) 20 % - 0,8648 type de terre* Ciment Blanc_Blanche (B) 30 %+ 0,5330 type de terre* Ciment Blanc_Rouge (R) 10 %+ 0,2730 type de terre*Ciment Blanc_Rouge (R) 20 % - 0,8059 type de terre*Ciment Blanc_Rouge (R) 30 % 0,8070 type de terre*Ciment Blanc_Tuf (T) 10 % - 0,8637 type de terre * Ciment Blanc_Tuf (T) 20 % + 1,671 type de terre* Ciment Blanc_Tuf (T) 30 %+ 1,140 Sable Fin (%) *Ciment Blanc

_25 % 10 % + 0,8463 Sable Fin (%) *Ciment Blanc_25 % 20
 %- 1,986 Sable Fin (%) *Ciment Blanc_25 % 30 % - 0,1993 Sable
 Fin (%) *Ciment Blanc_50 % 10 % + 0,004074 Sable Fin (%) *
 Ciment Blanc_50 % 20 % + 0,1952 Sable Fin (%) * Ciment
 Blanc_50 % 30 % - 0,9404 Sable Fin (%) * Ciment Blanc_75 % 10
 % -0,8504 Sable Fin (%) *Ciment Blanc_75 % 20 %+ 1,791
 Sable Fin (%) * Ciment Blanc_75 % 30 % -0,03852 type de
 terre*Sable Fin (%) * Ciment Blanc_Blanche (B) 25 % 10 %
 +0,001481 type de terre* Sable Fin (%) *Ciment Blanc_ Blanche
 (B)25 % 20 %+ 0,03704 type deterre*Sable Fin (%) * Ciment
 Blanc_Blanche (B)25 % 30 %- 0,7363 type de terre* Sable
 Fin (%) * Ciment Blanc_Blanche (B) 50 % 10 %- 0,1930 type de
 terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Blanche (B) 50 %
 20%+ 0,9293 type de terre*Sable Fin (%) * Ciment Blanc_Blanche
 (B) 50%30%+ 0,7748 type de terre*Sable Fin (%) * Ciment Blanc_
 Blanche (B) 75 % 10 %+ 0,1915 type de terre* Sable Fin (%) *
 Ciment Blanc_ Blanche (B) 75 % 20 % - 0,9663 type
 de terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Blanche (B) 75 % 30 %-
 0,7307 type de terre* Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Rouge (R)
 25 % 10 % +0,6259 type de terre* Sable Fin (%) * Ciment Blanc
 _Rouge (R) 25 % 20 % +0,1048 type deterre * Sable Fin (%) *
 Ciment Blanc_Rouge (R) 25 % 30 %+1,288 type de terre*
 Sable Fin (%) * Ciment Blanc_Rouge (R) 50 % 10 %+0,008148
 type de terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Rouge (R) 50 % 20 %-
 1,296 type de terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Rouge (R) 50
 %30 %-0,5574 type de terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc_ Rouge
 (R) 75% 10 %-0,6341 type de terre*Sable Fin (%) *Ciment
 Blanc_Rouge (R) 75 %20 %+ 1,191 type de terre* Sable Fin (%) *
 Ciment Blanc_Rouge (R) 75 % 30 %+ 0,7693 type de terre*S
 able Fin (%) *Ciment Blanc _Tuf (T) 25 % 10 % - 0,6274 type
 de terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Tuf (T) 25 % 20 %-0,1419
 type de terre *Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Tuf (T) 25%30 %
 +0,1848 type de terre* Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Tuf (T) 50 %
 20% +0,3670 type de terre*Sable Fin (%) *Ciment Blanc_Tuf (T)
 50 % 30 %- 0,2174 type de terre*Sable Fin (%) * Ciment
 Blanc_Tuf (T) 75%10 %+0,4426 type de terre*Sable Fin (%) *
 Ciment Blanc_Tuf (T) 75%20%-0,2252 type de terre*Sable Fin (%)
 * Ciment Blanc_Tuf (T) 75% 30 %

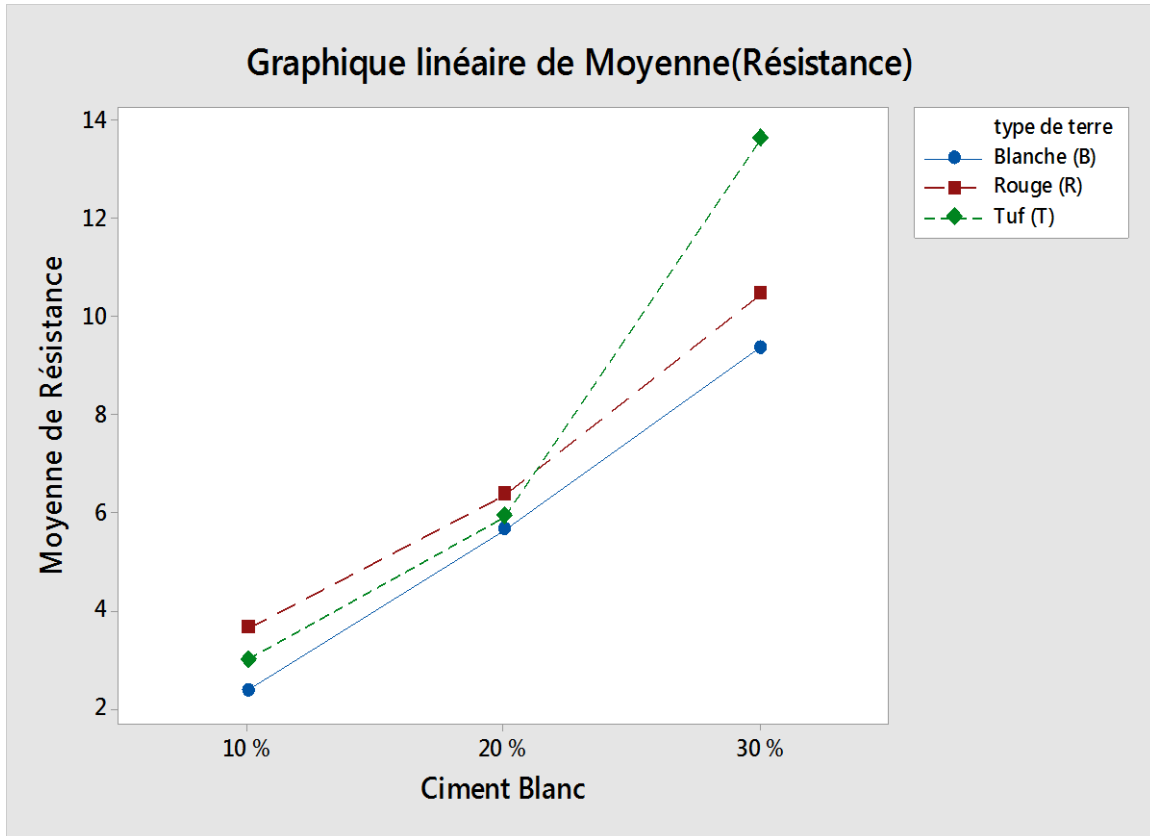


Figure IV.17 : Graphique des effets principaux pour Résistance (ciment blanc)

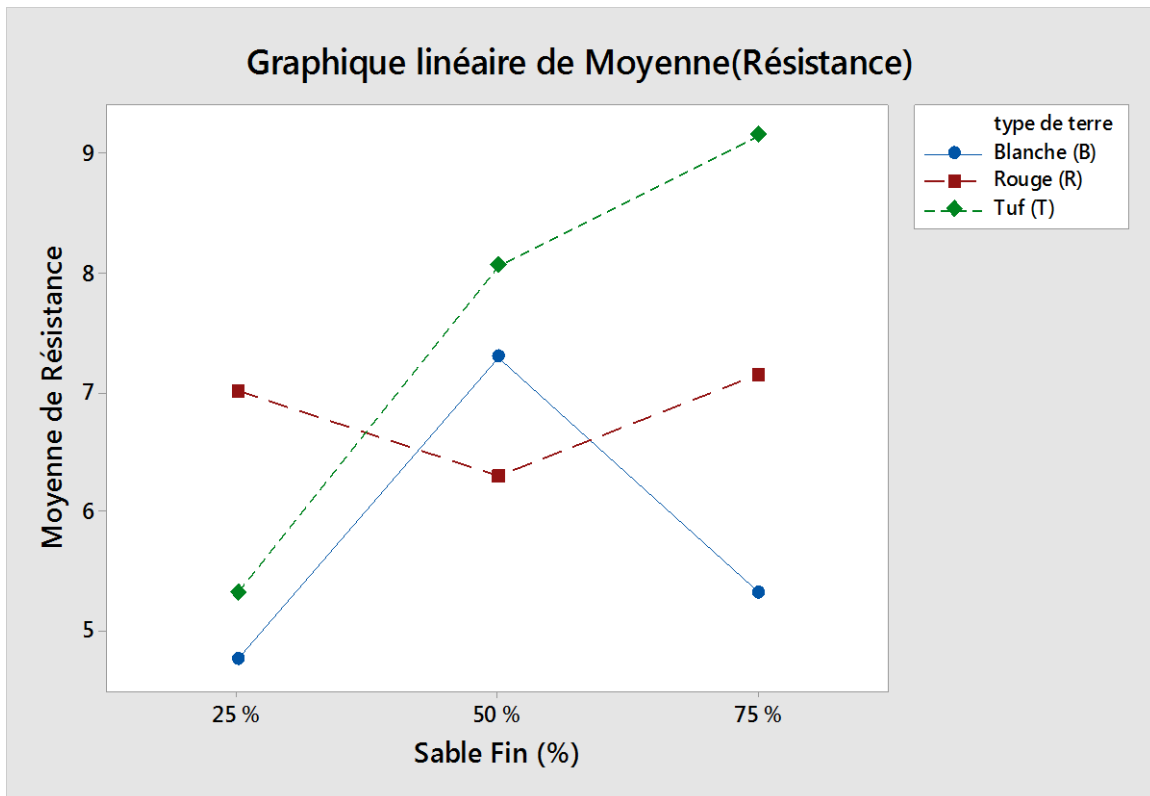


Figure IV.18 : Diagramme des interactions pour Résistance (ciment blanc).

IV.5 - Essai de compression (la norme P 18-406) :

L'essai de compression est réalisé suivant la norme **P 18-406**.

$$\sigma_c = F / S$$

F : la charge appliquée en KN.

S : section transversale de l'éprouvette ($S = a * a$).

Nous avons préparé des échantillons a la même méthode avec le ciment gris sous forme de moules ($10*10*10$) cm³ , nous les plaçons dans un étuve de température de 50°C et d' humidité de 95 %) pour la cure , sept jours plus tard on fait les essais de la compression mécanique a laide d'une Presse hydraulique raccordé aux un ordinateur où nous donne les efforts d'écrasement des échantillons

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 75 % , Sable fin 25 % et Ciment Blanc 10 %

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance $\bar{\sigma}$ (MP)
1	B	75	25	10	2,43
2	R	75	25	10	4,24
3	T	75	25	10	2,71

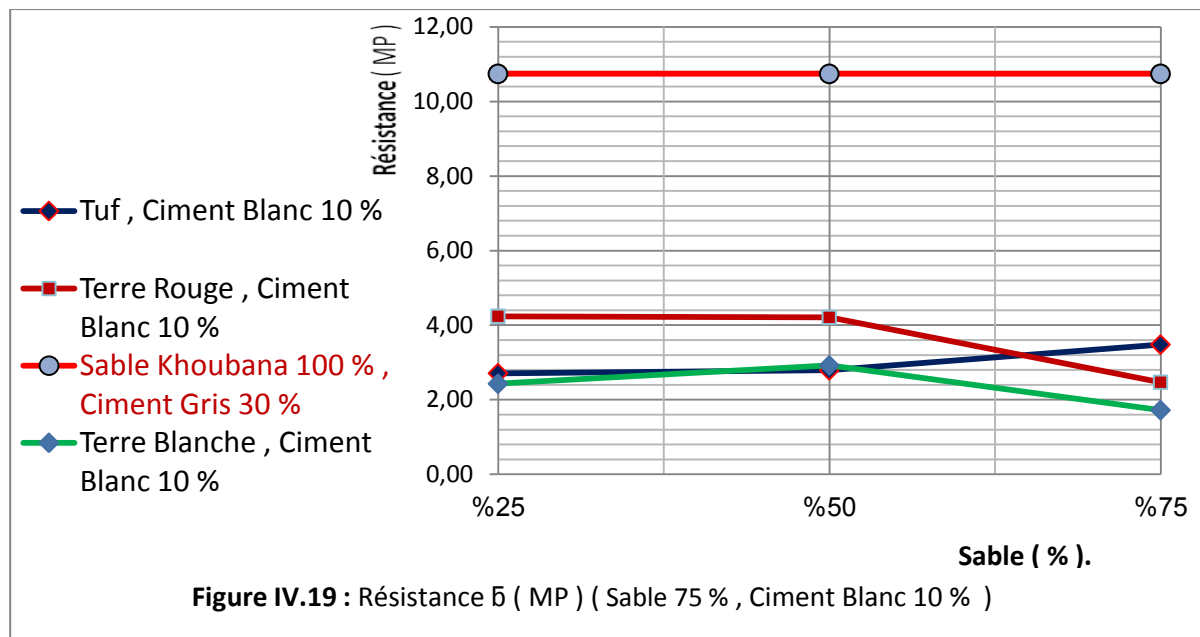
- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 50 % , Sable fin 50 % , Ciment 10 % :

	type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance $\bar{\sigma}$ (MP)
1	B	50	50	10	2,92
2	R	50	50	10	4,21
3	T	50	50	10	2,79

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 25 % , Sable fin 75 % , Ciment Blanc 10 % :

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance $\bar{\sigma}$ (MP)
1	B	25	75	10	1,72
2	R	25	75	10	2,47
3	T	25	75	10	3,48

Tableau VI.8 : Résistance $\bar{\sigma}$ (MP) (Ciment Blanc 10 %)



- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 75 % , Sable fin 25 % , Ciment Blanc 20 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	75	25	5,46
2	R	75	25	8,01
3	T	75	25	3,93

- M (Teere + Sable fin) 100 % , Terre 50 % , Sable fin 50 % , Ciment Blanc 20 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	50	50	6,95
2	R	50	50	5,84
3	T	50	50	6,64

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 25 % , Sable fin 75 % , Ciment Blanc 20 % :

N°	type de terre (%)	Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	25	75	4,51
2	R	25	75	5,19
3	T	25	75	7,14

Tableau VI.9 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment Blanc 20 %)

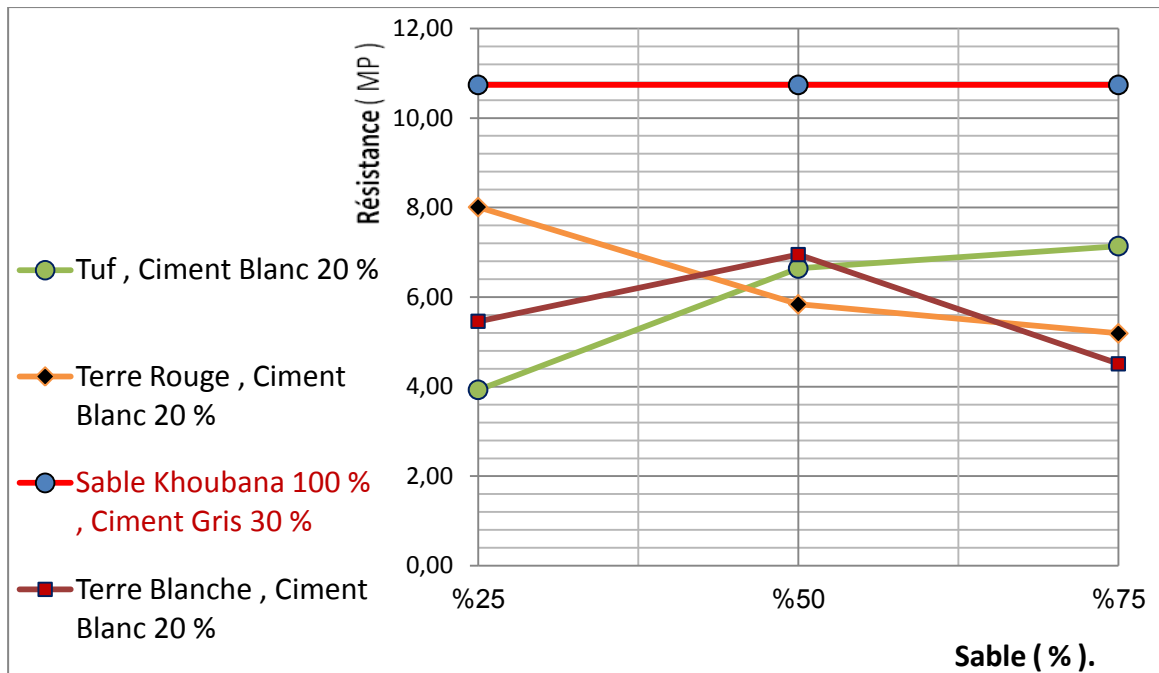


Figure IV.20 : Résistance \bar{b} (MP) (Sable 75 % , Ciment Blanc 20 %)

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 75 % , Sable fin 25 % , Ciment Blanc 30 % :

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	75	25	30	6,38
2	R	75	25	30	8,75
3	T	75	25	30	9,29

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 50 % , Sable fin 50 % , Ciment Blanc 30 % :

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	50	50	30	11,98
2	R	50	50	30	8,82
3	T	50	50	30	14,72

- M (Terre + Sable fin) 100 % , Terre 25 % , Sable fin 75 % , Ciment Blanc 30 % :

N°	type de terre (%)		Sable Fin (%)	Ciment Blanc (%)	Résistance \bar{b} (MP)
1	B	25	75	30	9,71
2	G	25	75	30	13,75
3	T	25	75	30	16,82

Tableau VI.10 : Résistance \bar{b} (MP) (Ciment Blanc 30 %)

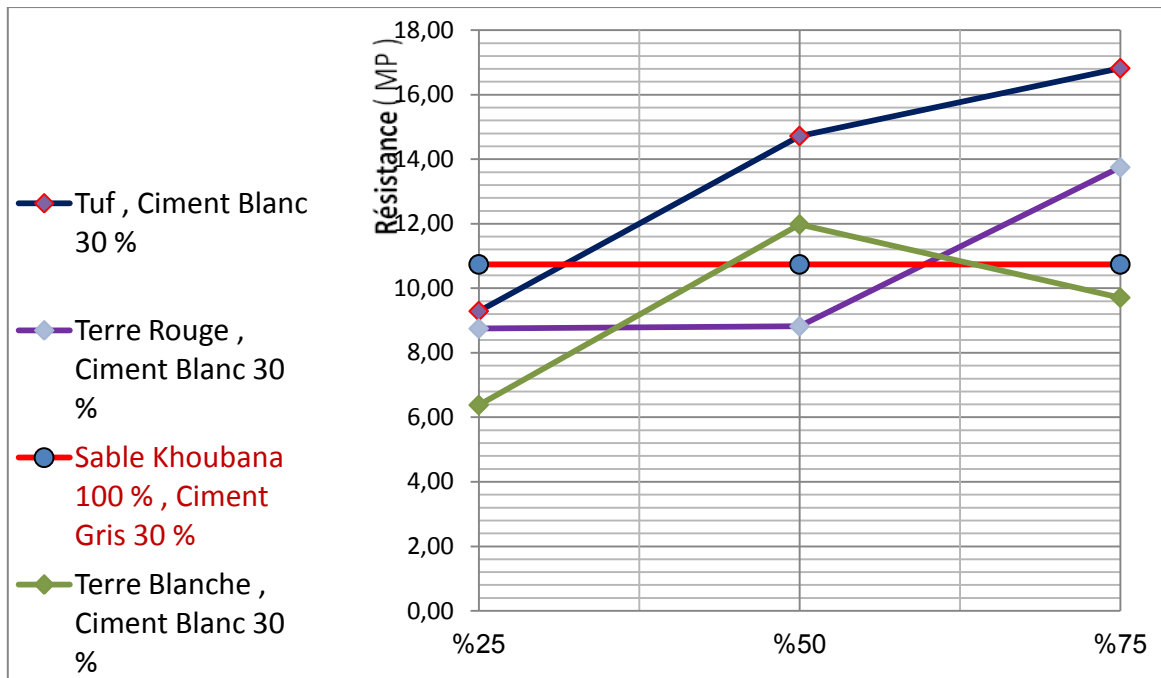


Figure IV.21: Résistance $\bar{\sigma}$ (MP) (Sable 75 % Ciment Blanc 30 %)

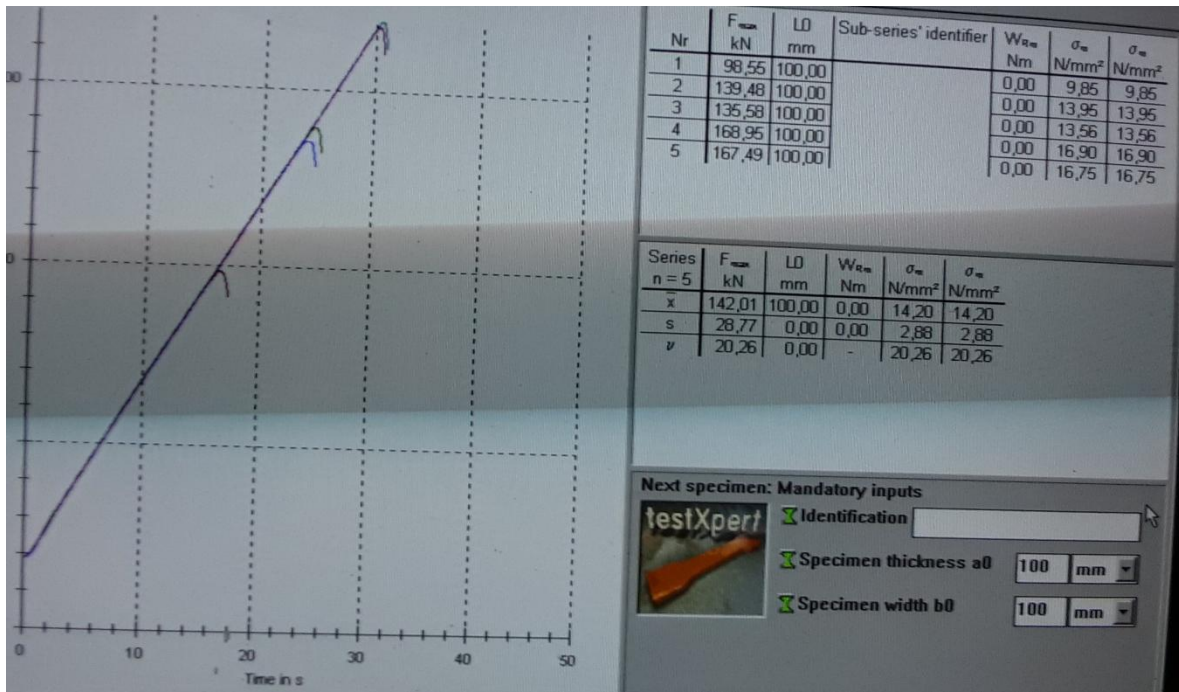


Figure IV.22 : Quelques essais de la compression (2).

IV.5. 1- Conclusion :

Les essais que nous avons réalisés , nous permettent de prendre certaines idées sur la réaction de terre crue , les résultats obtenus ont montré que le Tuf du V.S.A.Khoubana utilisé donne généralement les meilleurs résultats en résistance par rapport à les autres terres crues utilisés et en deuxième la terre rouge d'Echaeba elhamra a m'sila . La résistance mécanique en (MP) augmente progressivement celons l'augmentation du pourcentage du ciment ajouté. La résistance dépend de plusieurs paramètres dont les plus importants sont :

- le type de terre et sa quantité.
- Dosage en stabilisons (Ciment gris , Ciment blanc ou autre)
- La qualité de la terre.
- L'homogénéité du mélange.
- Du teneur en eau.
- temps du malaxage et de vibration.

CHAPITRE V :
« ISOLATION THERMIQUE ET
ELABORATION D'UN MODELE
EXPERIMENTAL »

V- Isolation thermique :



V.1- introduction :

Ce qui a attiré mon attention sur la valeur inhérente du Tuf en termes de durabilité et d'isolation thermique , nos justes martyrs et nos pères moudjahidines qui ont utilisé les abris militaires et les sanatoriums souterrains de la terre du Tuf pendant la révolution de libération. L'utilisation du tuf comme matériau d'isolation thermique et son développement à l'aide d'additifs naturels , minéraux , animaux ou végétaux sont venus comme une idée enrichie par Pr. Bencheikh Mohamed le dérecteur de laboratoire de développement Géo matériaux , à l'université de Mohamed boudiaf de M'sila (Algérie) et concrétisée dans mémoire de fin d'études du master 2. On n'oublie pas de mentionner que beaucoup d'argent a été dépensé et que de grands efforts ont été gaspillés pour économiser l'énergie , et de nombreux scientifiques tels que Vincent Regasi, Philippe Lequin et d'autres ont contribué à trouver des méthodes et des normes pour la préserver , et nous espérons que nos recherches seront une nouvelle pierre dans la science de l'isolation thermique et de la préservation Énergie avec des matériaux naturels locaux , qu'ils soient d'origine animale ou végétale , du sable des dunes avec du teff, de la laine de mouton ou de la sciure de bois.

V.2 - Définition de l'isolation thermique :

L'isolation thermique vise à empêcher les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid[20].



V.3- Définition d'isolant thermique :

Un isolant thermique est un matériau qui permet d'empêcher la chaleur ou le froid de s'échapper d'une enceinte close. Son contraire est un conducteur thermique. L'isolation thermique permet de minimiser la consommation d'énergie nécessaire à maintenir la température requise[21].



Les isolants thermiques sont essentiellement caractérisés par leur résistance thermique et leur inertie thermique. Ils permettent d'éviter les déperditions ainsi que le phénomène de pont thermique et de condensation. Les isolants thermiques sont caractérisés par une valeur **R** de résistance thermique du produit isolant (**en m^2C/W**) en établissant le rapport entre l'épaisseur du matériau en mètres et son coefficient lambda de conductibilité (**en $W/m^{\circ}C$**). Pour qu'un produit soit qualifié isolant , il faut que le coefficient **R** soit au moins égal à **4 m^2C/W** , soit **12 cm**

d'isolation avec des produits standards de type polystyrène ou laine minérale[21].

V.4- les éléments à isoler :

Les portes , les fenêtres , les planchers et les murs extérieurs d'une construction constituent des ponts thermiques , c'est-à-dire des points de transferts de chaleur. Ce sont sur ces points que doit se concentrer l'isolation thermique. Dans l'idéal, une maison bien isolée conserve la chaleur en hiver et la fraîcheur en été[21].

V.5- matériaux et normes :

En ce qui concerne l'isolation des murs, on distingue l'isolation intérieure, l'isolation extérieure et l'isolation intégrée. Les matériaux isolants employés pour les travaux d'isolation thermique sont les isolants minéraux (laine de verre, de roche, perlite), les isolants naturels (chanvre, fibre de bois, laine, plumes, etc.), les isolants synthétiques (polystyrène, polyuréthane), mais on utilise de plus en plus de nouveaux matériaux comme les briques Monomur , le béton cellulaire , les aérogels ou encore les panneaux isolants sous vide. En France, la norme RT 2005 fixait auparavant les principes d'isolation thermique dans l'optique de limiter la consommation d'énergie due au chauffage, puis la norme RT 2012 a vu le jour en mars 2012, avant de laisser place à la RT 2020. La RT 2020 est donc la nouvelle réglementation thermique (RT). Elle renforce encore un peu plus les règles concernant la consommation énergétique des nouvelles constructions. Elle va donc plus loin dans l'objectif de réduction d'émissions de gaz à effet de serre et vise non seulement à réduire la consommation d'énergie des habitations mais à supprimer le gaspillage énergétique. Désormais, toutes les nouvelles constructions doivent respecter les normes établies par la RT 2020. Il s'agit ainsi d'économie d'énergie mais aussi de production d'énergie, chaque construction devenant un bâtiment à énergie positive (Bepos) [21].

V.2 - Modes expérimentales :

V.2.1- Introduction :

Après avoir classé les types de sols bruts utilisés dans notre étude en termes de préférence dans les expériences de résistance aux contraintes mécaniques, notre

étude en transformation thermique et rétention ou perte d'énergie s'est limitée à seulement deux types :

01 -Tuf .

02 - Terre rouge .

Nous prendre le quatrième facteur qui représente les additifs (isolants) dans des proportions variables qui affectent le transfert de chaleur. Nous avons utilisé des matériaux isolants largement utilisés garantir l'économies d'énergie (laine , charpenterie , laine de verre , laine de roche ...) , de systèmes " logicielle d'Excellente " , les instruments de mesure , machines , équipement éco-énergétiques et les deux types de terre crue (locaux) choisies (Terre rouge et du Tuf) , du ciment (gris , blanc) et de sable fin (Sable de dunes V.S.A Khoubana).

V.2.2 - Confection des échantillons :

Nous avons préparé le matériel et les accessoires nécessaires à la réalisation de ce travail. Nous avons réaliser des blocs de terre crue , on modifiant les proportions de composants et d'additifs et en les laissant sécher dans un milieu humide (étuve de 95% d'humidité) (la cure). A partir d'un mélange homogène (sans ajouts) nous avons réalisé de nombreux échantillons différents pour mener des expériences liées à la conservation ou à la perte d'une quantité d'énergie Formation de cubes remplis d'épaisseur de 15 cm , 10 cm ,

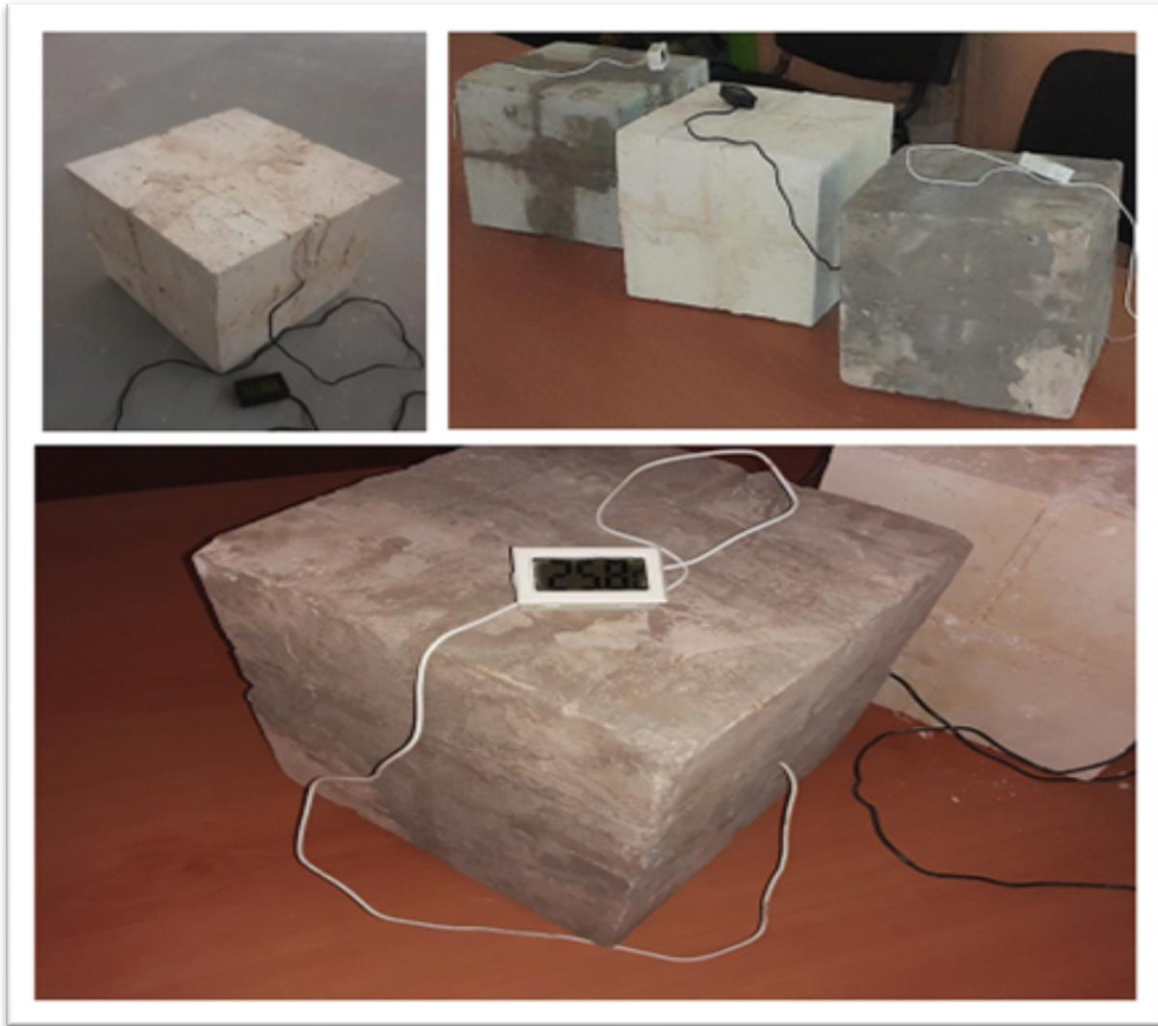


Figure V.1 : Echantillons utilisés (cubes remplis d'épaisseur de 10 cm).

avec des capteurs thermiques placés en leurs milieux (leurs centres de gravité), et de la même manière , des cubes à partir du mélange homogène après ajouts de laine , laine de roche , laine de verre et la copeaux de bois. Nous laissons les échantillons finaux après séchage pendant 24 heures dans la salle du laboratoire à 24 °C jusqu'à ce que la température se stabilise. Nous plaçons les échantillons refroidis dans un four à température constante (50°C , +/- 5 °C). Afin d'enregistrer l'augmentation (ou la diminution) de la température interne des échantillons , en fonction du temps au moyen de capteurs thermiques

Nous avons préparé des boîtes de briques rouges (20*32*41)cm³ en forme de parallélépipèdes équipées de capteurs thermiques suspendus par des fils au milieu d'eux (le point du centre de gravité) , pour mesurer la température à l'intérieur de ces boîtes ont été placées dans un four à une température contrôlée fixé à 50°C(+/-5°C).



Figure V.2 : Boîtes expérimentales (Brique rouge)

Nous avons isoler l'une des boîtes préalablement préparées avec du mortier de terre cru mélangé de la laine de roche (5%) (revêtement en deux couches) sous la forme de (22,5 * 34,5 * 43,5) cm ³.



Figure V.3 : Boîtes expérimentales (Brique rouge revêtu)

V.3 - l'élévation de la température

Nous avons placés ces cubes formés à partir du mélange homogène choisi dans une étuve de température constante de 50 °C (+/- 05C°) , Nous avons Enregistrement de l'élévation de la température interne en fonction du temps au moyen des capteurs thermiques (implantés aux centre de ces cubes) dans les tableaux suivants qui nous les traduisent à des courbes.

V.3.1 - Modes expérimentales :

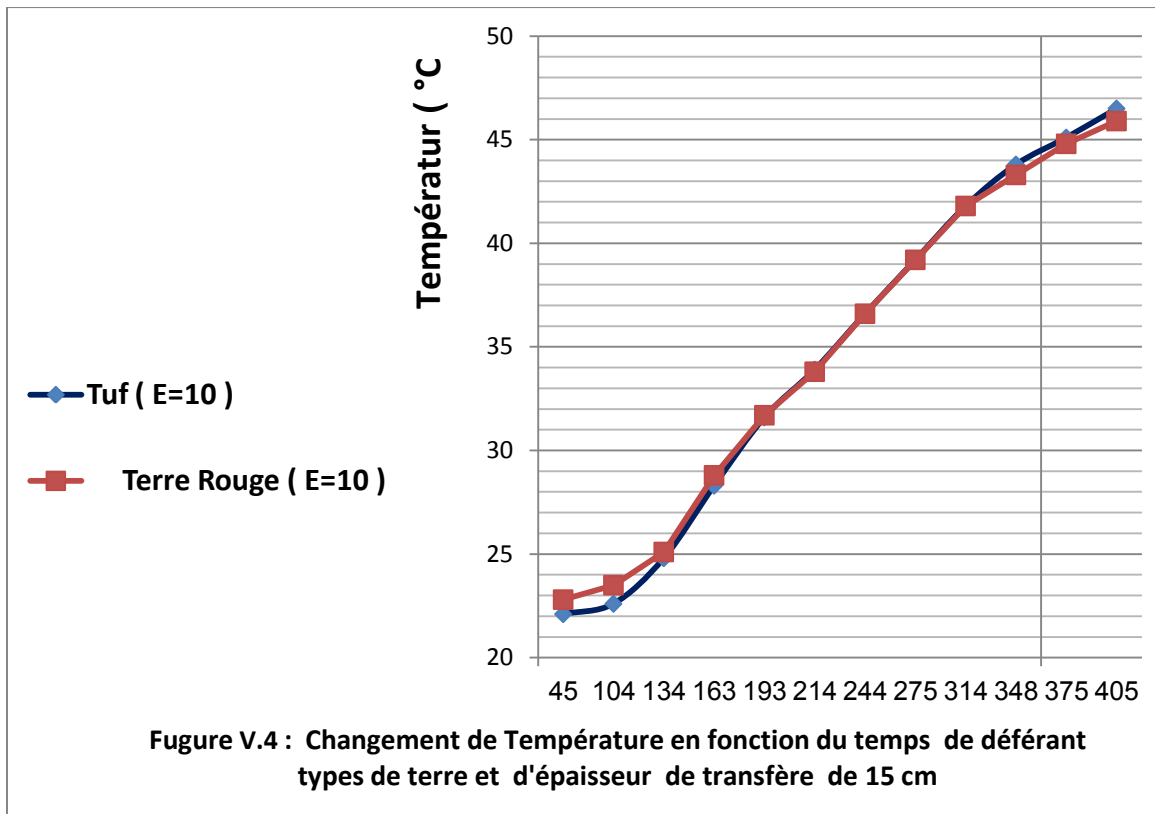
V.3.2- Introduction :

Compte tenu des champs des tableaux et pour simplifier les longues écritures, nous avons utilisé les abréviations et symboles suivants :

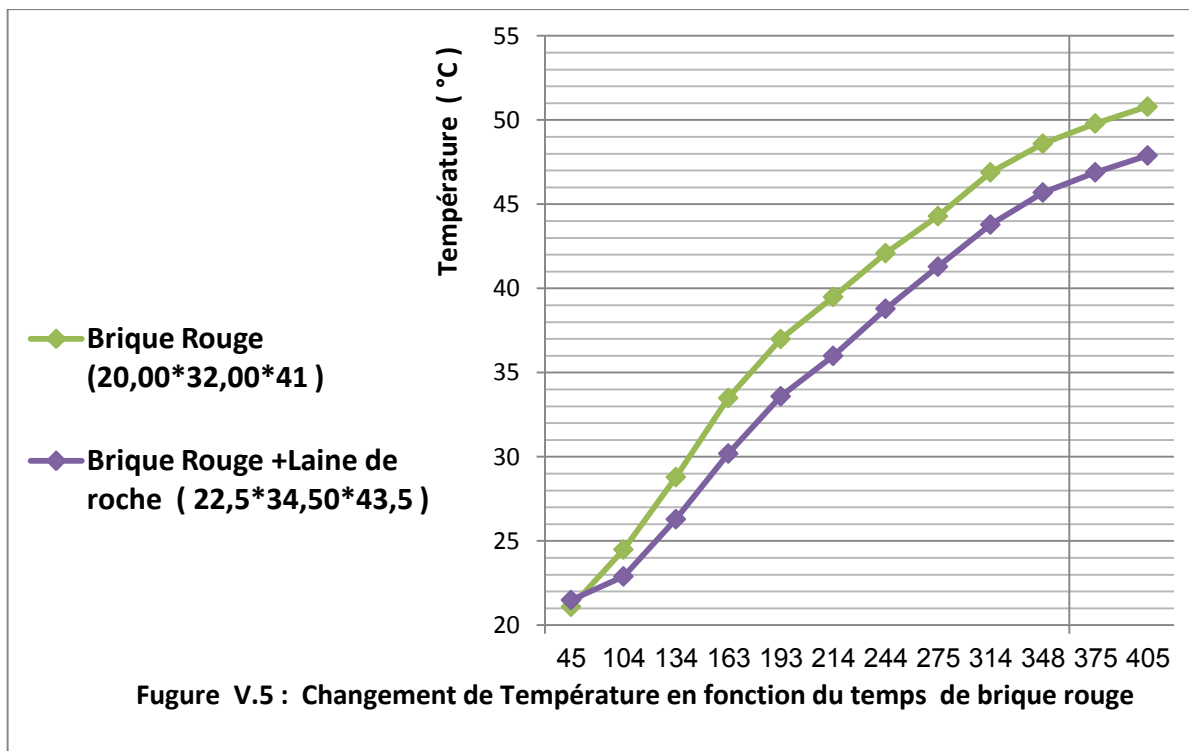
- Ch / Tem : Changement de Température
- T (10) : Tuf de épaisseur de 10 cm (E=10 cm)
- T (15) : Tuf de épaisseur de 15 cm (E=15 cm)
- R (10) : Terre Rouge de épaisseur de 10 cm (E=10 cm)
- Br : Brique Rouge (20,00*32,00*41)
- Br.l : Brique Rouge +Laine de roche (22,5*34,50*43,5)
- T.C(5%),(10) : Tuf + copeaux de bois (5%) (E=10 cm)
- T.l(5%),(10) : Tuf+Laine de roche (5%) (E=10 cm)
- T.l.v,(10) : Tuf + laine (1%) + Laine de verre (2%) (E=10 cm)
- T.l(5%),(15) : Tuf+Laine de roche (5 %) (E=15 cm)

Temps	Temp (m)	Température °C			
		T (10)	R (10)	Br	Br.l
9 H,45 m	45	22,1	22,8	21,1	21,5
10 H,44 m	104	22,6	23,5	24,5	22,9
11 H,14 m	134	24,8	25,1	28,8	26,3
11 H,43 m	163	28,3	28,8	33,5	30,2
12 H,13 m	193	31,6	31,7	37,0	33,6
12 H,34 m	214	33,9	33,8	39,5	36,0
13H,04 m	244	36,6	36,6	42,1	38,8
13 H,35 m	275	39,2	39,2	44,3	41,3
14 H,14 m	314	41,8	41,8	46,9	43,8
14 H,48 m	348	43,8	43,3	48,6	45,7
13 H,15 m	375	45,1	44,8	49,8	46,9
15 H,45 m	405	46,5	45,9	50,8	47,9

Tableau V.1 : l'élévation de la température , Tuf (10cm) ,Terre Rouge (10 cm) ,
Brique et Brique enduit



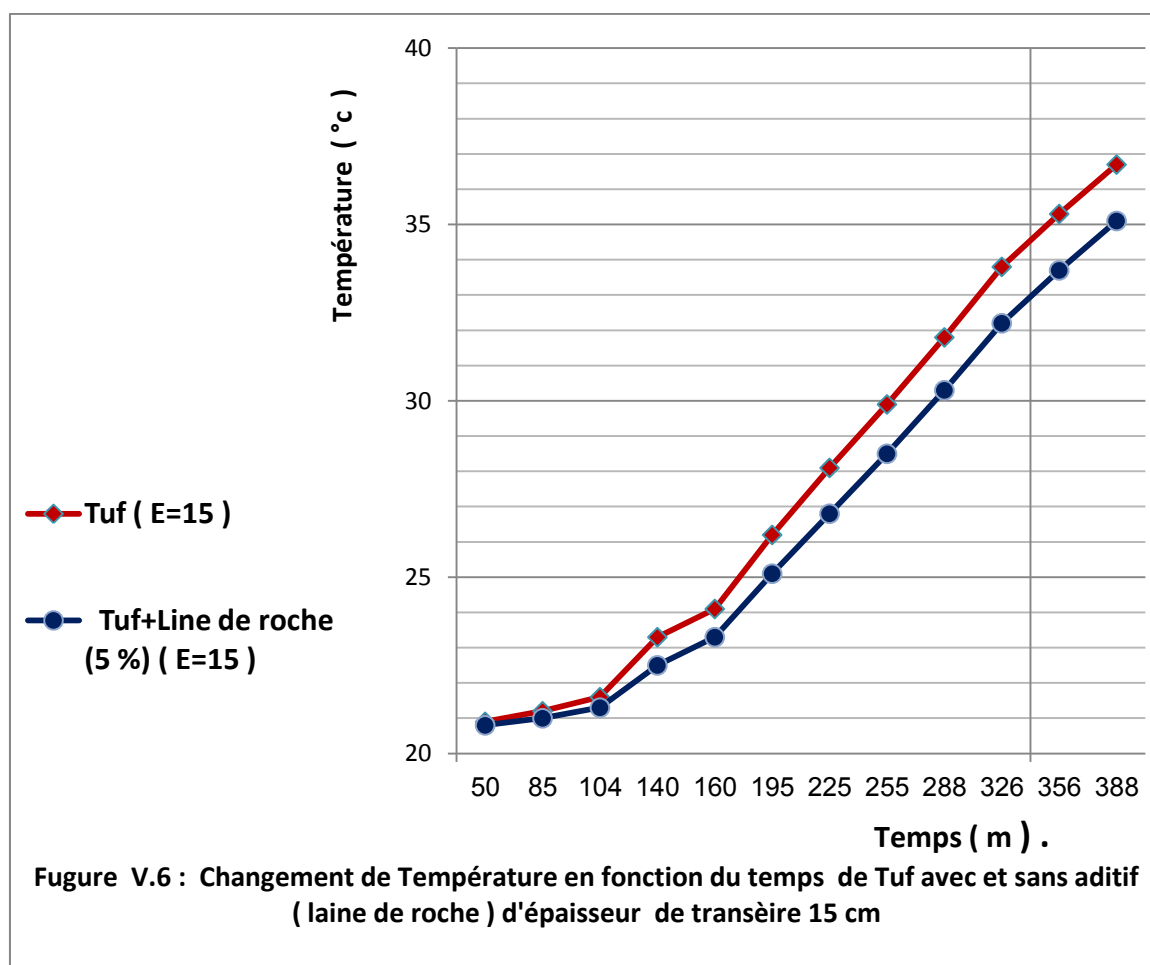
Les deux types sont proches en termes de conservation d'énergie et il n'y a pas de différence significative



Bien que l'épaisseur du revêtement soit de 1,5 cm , la différence est nette

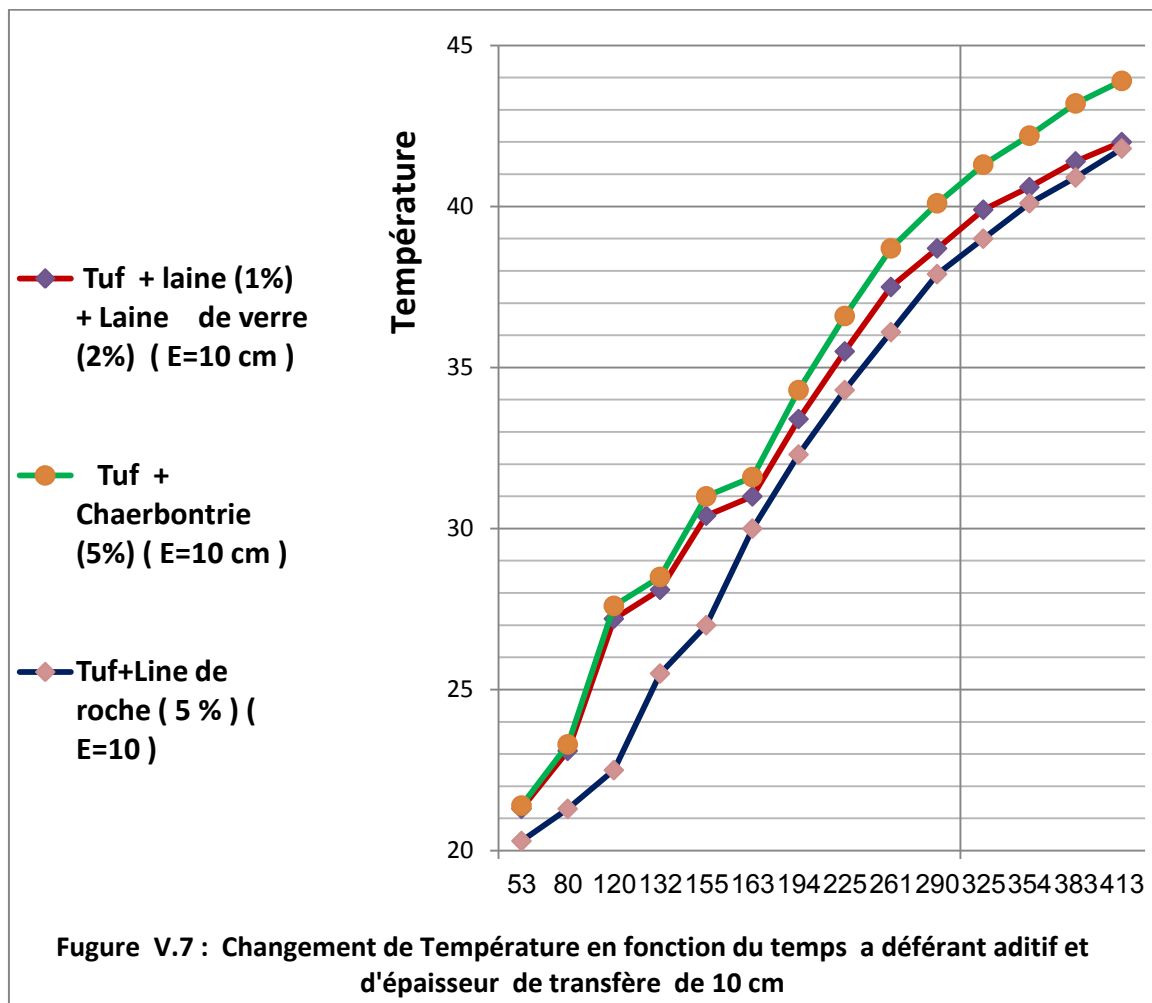
Temps	Temps (m)	Température °C	
		T (15)	T.l.(5%),(15)
10 H , 50 m	50	20,9	20,8
11 H , 25 m	85	21,2	21,0
11 H , 44 m	104	21,6	21,3
12 H , 20 m	140	23,3	22,5
12 H , 40 m	160	24,1	23,3
13 H , 15 m	195	26,2	25,1
13H , 45 m	225	28,1	26,8
14 H , 15 m	255	29,9	28,5
14 H , 48 m	288	31,8	30,3
15 H , 26 m	326	33,8	32,2
15 H , 56 m	356	35,3	33,7
16 H , 28 m	388	36,7	35,1

Tableau V.2 : l'élévation de la température, Tuf (15 cm) ,Terre Rouge avec (5 %) de la laine de roche (15 cm) , Brique et Brique enduit .



Temps	Temps (m)	Température °C		
		T.l.v,(10)	T.C(5%),(10)	T.l(5%),(10)
9h,53m	53	21,3	21,4	20,3
10h,20m	80	23,1	23,3	21,3
11h,00m	120	27,2	27,6	22,5
11h,12m	132	28,1	28,5	25,5
11h,35m	155	30,4	31,0	27,0
11h,43m	163	31,0	31,6	30,0
12h,14m	194	33,4	34,3	32,3
12h,45m	225	35,5	36,6	34,3
13h,21m	261	37,5	38,7	36,1
13h,50m	290	38,7	40,1	37,9
14h,25m	325	39,9	41,3	39,0
14h,54m	354	40,6	42,2	40,1
15h,23m	383	41,4	43,2	40,9
15h,53m	413	42,0	43,9	41,8

Tableau V.3 : l'élévation de la température , Tuf (laine (1%) + Laine de verre (2%) , copeaux de bois (5%) , (5 %) de la laine de roche (E=10 cm)



V.4 – Pert du Chaleur :

Nous avons sorti les cubes formés à partir du mélange homogène choisi et les boîtes du four et les avons placés dans la salle du laboratoire sans toucher le sol , nous avons enregistré la perte de température interne en fonction du temps au moyen de capteurs thermiques (implantés aux centre de ces boîtes et cubes) dans les tableaux suivants que nous traduisons en courbes.



Figure **V.8** : Cubes et Boîtes expérimentales (Tuf , Terre Rouge , Brique rouge et Brique rouge enduit.

Temps	Temps (m)	Température °C			
		T (10)	R (10)	Br	Br I
10 H , 45 m	45	42,5	51,6	60,6	48,3
11 H , 25 m	85	39,3	47,2	47,9	42,5
11 H , 45 m	105	37,3	44,2	42,8	39,4
12 H , 20 m	140	34,5	40,4	36,3	35,4
12 H , 40 m	160	33,3	38,4	33,7	33,8
13 H , 15 m	195	31,3	35,5	30,4	31,3
13 H , 45 m	225	29,9	33,7	28,6	29,5
14 H , 15 m	255	28,9	32,2	27,5	28,3
14 H , 48 m	288	28,0	30,7	26,7	27,3
15 H , 26 m	326	27,2	29,1	26,1	26,5
15 H , 56 m	356	26,7	28,7	25,7	25,9
16 H , 28 m	388	26,3	28,1	25,4	25,5

Tableau V.4 : Pert du Chaleur , Tuf (10cm) ,Terre Rouge (10 cm) , Brique enduit .

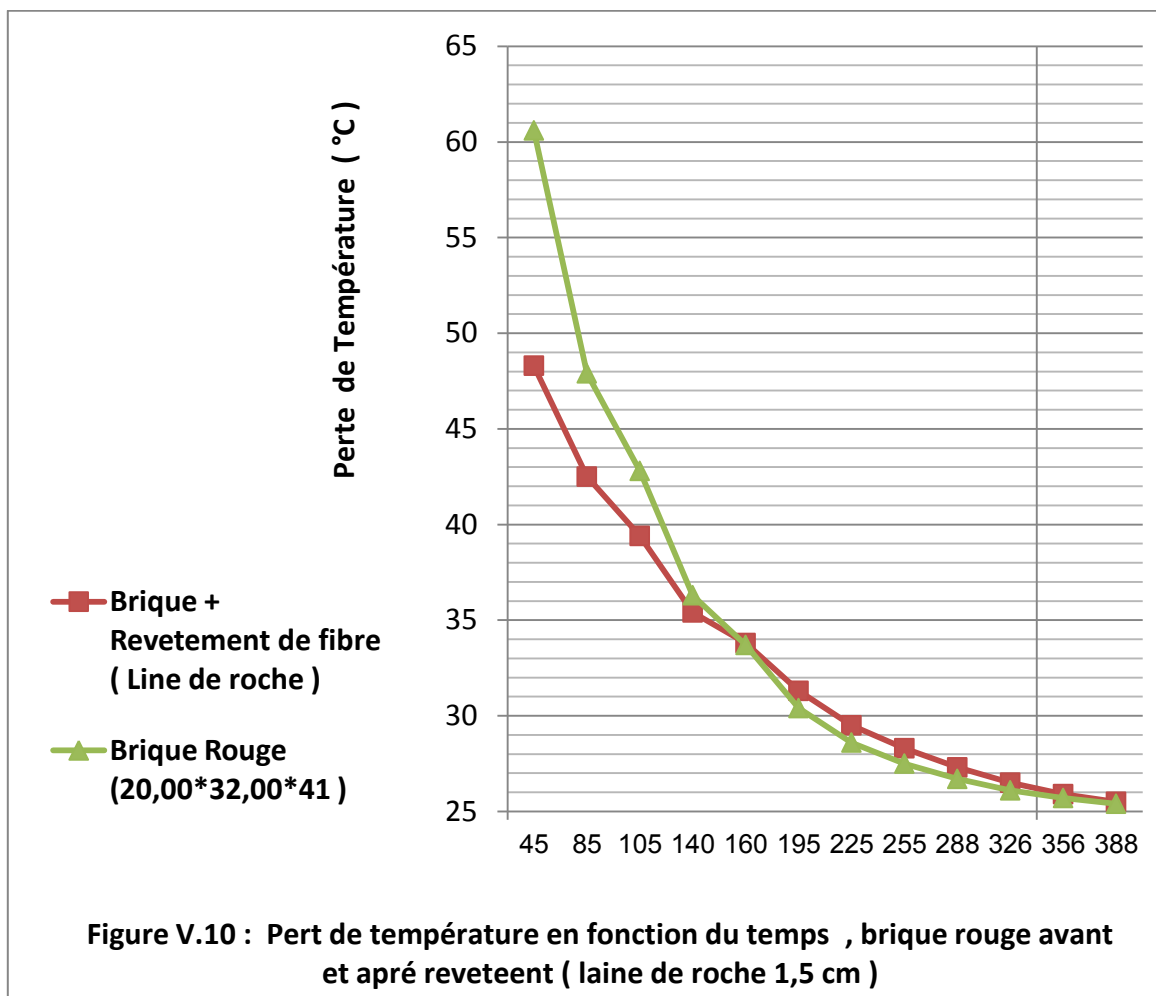
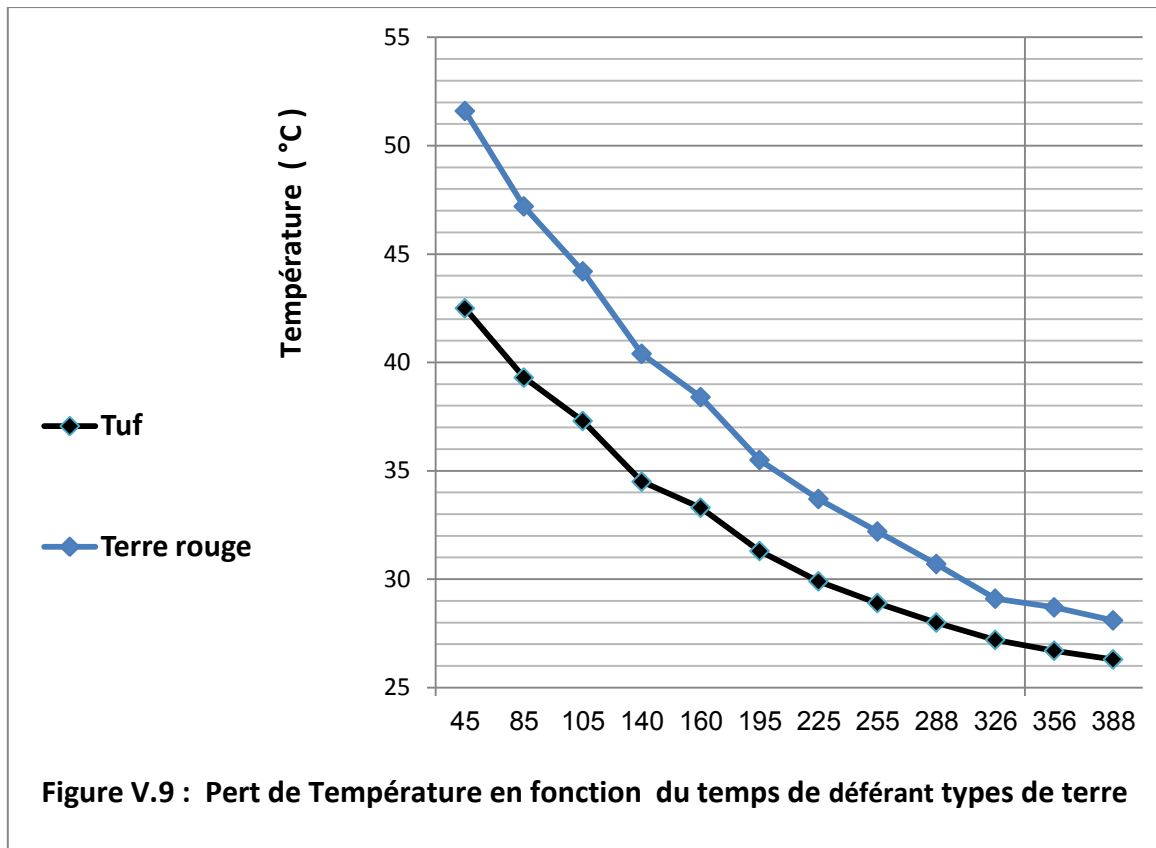




Figure V.11 : Cubes expérimentales ,Tuf avec et sans aditif d'épaisseur de 10 ,15 cm

- Ch / Tem : Changement de Température
- T (15) : Tuf de épaisseur de 15 cm (E=15 cm)
- T.l(5%),(10) : Tuf+Laine de roche (5%) (E=10 cm)
- T.l(5%),(15) : Tuf+Laine de roche (5 %) (E=15 cm)

H	Temps (m)	T.l(5%),(10)	T.l(5%),(15)	T (15)
9 H ,45 m	45	55,0	56,8	55,5
10 H ,44 m	104	53,6	54,7	55,0
11 H ,14 m	134	50,0	53,1	53,5
11 H ,43 m	163	46,4	51,3	51,3
12 H ,13 m	193	43,3	49,1	48,9
12 H ,34 m	214	41,4	47,5	47,1
13 H ,04 m	304	39,3	45,5	44,9
13 H ,35 m	335	37,4	43,5	42,8
14 H ,14 m	374	35,6	41,4	40,4
14 H ,48 m	408	34,3	39,7	38,6
15 H ,15 m	435	33,5	38,5	37,4
15 H ,45 m	465	32,7	37,3	36,1

Tableau V.5 : Pert du Chaleur , Tuf (15 cm) ,Tuf de la laine de roche (10 , 15 cm).

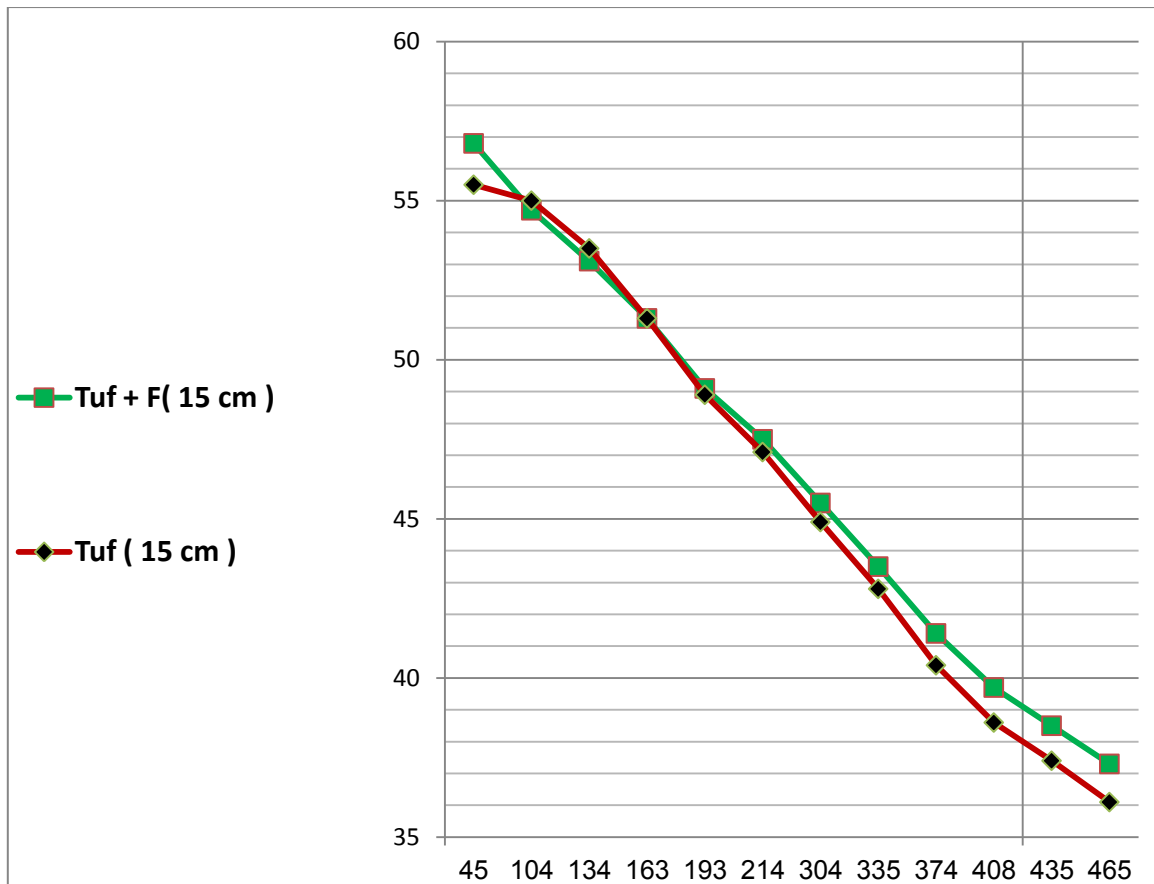
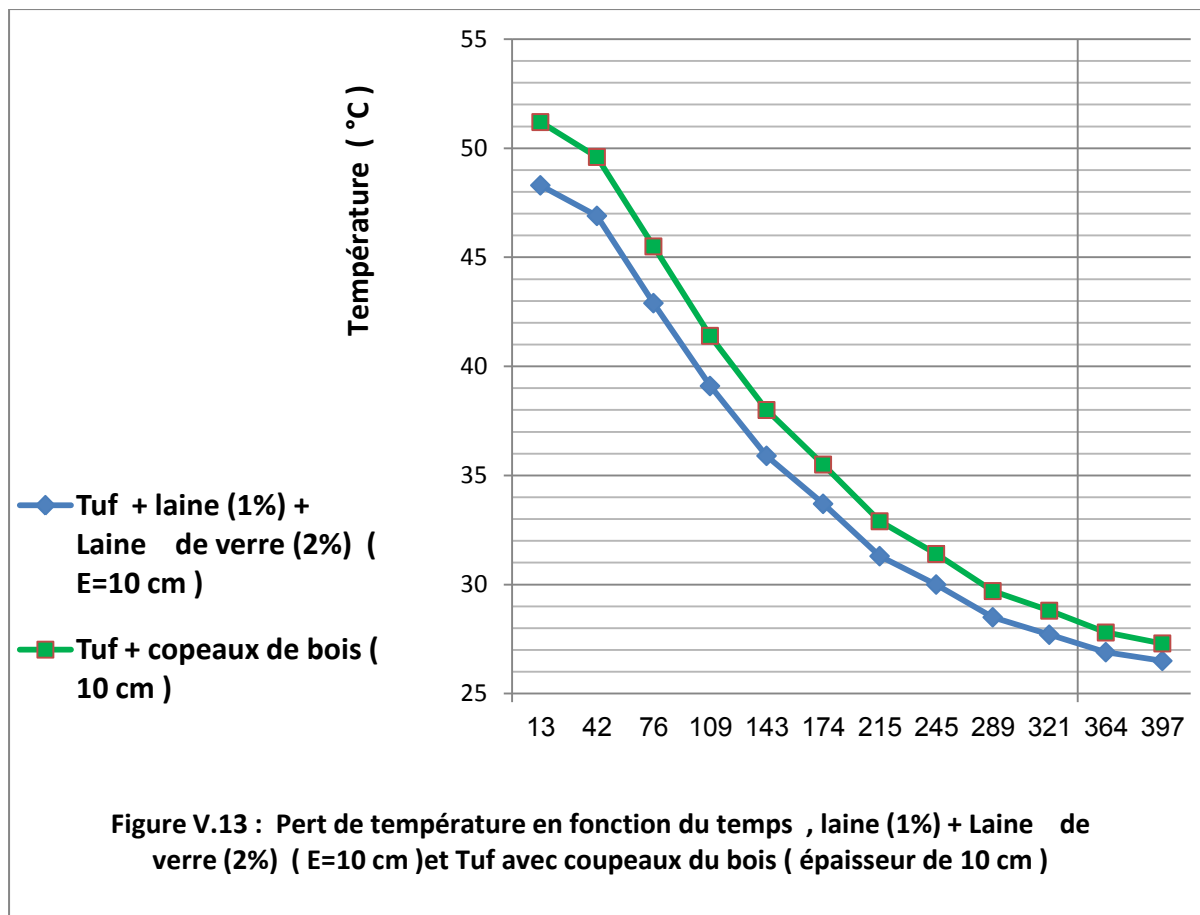


Figure V.12 : Pert de température en fonction du temps , Tuf avec et sans aditifs (épaisseur de 15 cm)

H	Temps (m)	T.l.(5%),(10	T.C.b (5%),(10)
9H , 13 m	13	48,3	51,2
9 H , 42 m	42	46,9	49,6
10 H ,16 m	76	42,9	45,5
10 H , 49 m	109	39,1	41,4
11 H , 23 m	143	35,9	38
11 H , 54 m	174	33,7	35,5
12 H , 35 m	215	31,3	32,9
13 H , 05 m	245	30	31,4
13 H , 49 m	289	28,5	29,7
14 H , 21 m	321	27,7	28,8
15 H , 04 m	364	26,9	27,8
15 H , 37 m	397	26,5	27,3

Tableau V.6 : Pert du Chaleur ,Tuf et la laine de roche (10 cm) , Tuf et copeaux de bois (10 cm) .



V.5 – Discussion (comparaison) :

travers les expériences que nous avons menées et après avoir traduit les résultats en courbes , nous avons observé ce qui suit :

La laine de roche augmente l'efficacité du tuf dans l'isolation thermique.

Après avoir classé les types de sol brut utilisés dans notre étude en termes de préférence dans les expériences de résistance aux contraintes mécaniques , notre étude s'est limitée à la transformation thermique et à la rétention ou à la perte d'énergie sur le tuf et la terre rouge.

Nous avons réalisé de nombreux échantillons différents pour mener des expériences liées à la conservation ou à la perte d'une quantité d'énergie. Formation des cubes remplis d'épaisseur de 15 cm , 10 cm avec des capteurs thermiques placés en leur milieu (leur centre de gravité) à partir du mélange homogène de préférence) sans ajouts et de la même manière des cubes à partir du mélange homogène après ajouts (tuf 25%) de laine , laine de roche , laine de verre et copeaux de bois.

Nous avons laissé les échantillons terminés après séchage pendant 24 heures dans la salle de laboratoire à une température de 24 °C jusqu'à ce que la température se stabilise. nous avons Placer les échantillons refroidis dans une étuve à température constante de 50 °C (+/- 5 °C) et d'enregistrer l'augmentation (ou la diminution) de la température interne des échantillons à l'aide des capteurs thermiques implantés dans les cubes formés à partir du mélange homogène choisi.

Le mélange préparé avec de la laine de roche est meilleur que les autres

L'épaisseur est de 10 cm

Le mélange préparé avec de la laine et de la laine de verre est meilleur que celui mélangé avec des copeaux de bois et qui préparé avec de la laine de roche est le meilleur des deux.

La Terre rouge et le Tuf ont une résistance à la chaleur presque similaire.

Les briques revêtues de laine de roche sont meilleures que les briques non revêtues

Le Tuf du 15 cm d'épaisseur sans aditifs est retient mieux la chaleur que le tuf avec la laine de roche de la même épaisseur de 15 cm

CHAPITRE VI :
« DURABILITÉ ET RÉSISTANCE »

VI. – Durabilité et résistance :

VI.1- introduction :

Après avoir préparé des échantillons de terres brutes le 05 / 10 / 2023 , ils ont été séchés pour mettre en œuvre les expériences préliminaires sur eux , et une pure coïncidence le 18 / 05 / 2023 , la fuite d'eau de la pluie a conduit à la décomposition et à la désintégration de La Terre rouge et les moules terrestres verts après séchage , ce que notre attention a attiré l'attention sur la faible résistance à l'eau , et nous avons dû penser à une solution à ce problème



Figure VI.1 : Echantillons démolis par les fuites d'eau de pluie.

VI.2 - Durabilité:

La durabilité de l'ouvrage caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel , sécurité , confort des usagers) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect esthétique dans ses conditions d'environnement , avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible (sous réserve de la mise en œuvre d'une maintenance préventive programmée).

La durabilité du bâtiment est directement liée à l'environnement immédiat ou futur de celui-ci ou d'une partie de celui-ci qui doit être pris en compte afin d'améliorer la résistance de la terre crue aux influences extérieures telles que les conditions météorologiques et les eaux souterraines [22].

VI.3 - matériaux et normes :

VI.3.1- Normes :

Les normes de durabilité sont des codes de conduite, des protocoles d'audit, des normes de production et de commerce , qui visent à protéger les personnes et l'environnement au cours des étapes de production , de fabrication , de commerce et de consommation des biens.

Vernis non gras

La solution est de la térébenthine ou de l'alcool , et la solution reste après son évaporation , la substance résineuse étirée sous la forme d'un copeau sans transformation ni altération.

comme les galons dissous dans la goule , ou avec quelques variantes comme les galons dissous dans la térébenthine ; Et il y a des utilisations spéciales pour l'échinacée

défini comme une solution aqueuse de gomme animale produite à partir d'os ou de cuir, et une solution aqueuse de gomme végétale produite à partir de la décomposition de certains

hydrolyse de l'amidon , par hydrolyse

VI.3.2- Équipements



Figure VI.2 : Equipments utilizes

VI.3.3- matériaux

En raison du temps limité de la note de remise des diplômes pour obtenir un témoin Master 2 , nos expériences de durabilité et notre résistance à l'eau brute sont

limitées aux deux types précédents (TUF et Terre rouge) comme matériaux premières et de Vernis aqueux comme stabilisons .

VI.3.3.1- Vernis aqueux :

Le vernis , le vernis ou la laque est un liquide organique visqueux comme la peinture, sauf qu'il ne contient pas de colorant ou de colorant lorsqu'il est pur.

Il est quelque peu transparent et a tendance à être de couleur foncée. Il est utilisé pour peindre le bois , le fer et d'autres choses pour les protéger de l'air

[et l'humidité et pour améliorer son apparence. Lorsque le vernis sèche , il laisse un film résistant et brillant [23].

VI.4 - Modes expérimentales :

VI.4.1- Introduction :

En réfléchissant à la nature et aux composants du sol utilisé dans nos expériences, l'idée de prévenir les fuites d'eau dans les échantillons est venue avec une substance qui n'est pas affectée par l'eau, n'affecte pas les réactions de sclérose du matériau , amicales avec les L'environnement est facile à utiliser et à la portée de tous et notre choix était correct pour la solution (a) . Les résultats étaient plus rapides que nous ne l'imaginons. Des signes de sclérose ont commencé rapidement et dans le climat normal.



Figure VI.3 : l'une des étapes de l'expérience

VI.4.2 - Confection des échantillons :

Après avoir préparé la quantité nécessaire de la terre bruts (Tuf et terre rouge) , les moules en plastique (10 * 10 * 10) cm 3 ,



Figure VI.4 : Le nouveau matériau qui en résulte

Nous avons ajouté une quantité de solutions (a) de l'eau de gâchage) , Nous versons la pâte dans les moules en deux étapes avec tremblements manuels , puis les tremblements mécaniques pendant une minute pour combler les lacunes dans les moules et éliminer l'excès d'eau, après la colonie, nous avons mis l'échantillon à sécher dans un environnement naturel (la salle de laboratoire).

Après la déshydratation totale des échantillons, nous avons préparé deux bols et mis à l'intérieur une quantité d'eau (profondeur de 1 à 2 cm). Nous avons soigneusement mis des échantillons au milieu de l'eau dans le bol, et nous avons commencé à suivre les étapes de l'absorption d'eau de ces échantillons , avec une température et un taux d'humidité à chaque fois



Figure VI.5 : Le nouveau matériau avant l'expérience d'absorption d'eaux.

Discussion (comparaison) :

Nous avons obtenu une terre crue résistant à l'eau , durable et qui ne s'hydrolyse pas et ne se détériore pas , malgré plus de 40 heures dans l'eau.



Figure VI.6 : Le nouveau matériau du coulage à l'tape d' absorption d'eaux.

Le Tuf a plus soif d'eau que la terre rouge , et pourtant il reste le même .

La matière nouvel est légère que la terre crue initiale.



Figure VI.7 : les types de Terre brute utilisés avant et après traitement

« CONCLUSION GENERALE »

Conclusion général

La terre crue est un matériau minéral granulaire , composé de matière solide , liquide et gazeuse , elle est appréciée pour ses propriétés de régulation de température et d'humidité à exploiter dans le développement énergétique , mais elle est faible en résistance aux influences extérieures et aux facteurs naturels , de nouvelles visions nous nous intéressons à l'amélioration de la forme et des composants pour équilibrer le pourcentage d'additifs , augmenter l'efficacité et la possibilité d'exploiter la pâte de terre crue pour conserver la plus grande quantité d'énergie possible et une durabilité acceptable. L'amélioration et l'augmentation de sa résistance était un aspect de nos recherches, où nous avons ajouté de nombreux stabilisants tels que le ciment gris, le ciment blanc et la laque, ce qui a donné des résultats encourageants, résistance à la compression plus que 16 MP, Bonne résistance de la chaleur , durabilité et haute résistance à l'eau (plus de 41 dans l'eau et il ne s'est pas décomposé ni désintégré) Les essais que nous avons réalisés , nous permettent de prendre certaines idées sur la réaction de terre crue , les résultats obtenus ont montré que le Tuf du V.S.A.Khoubana utilisé donne généralement les meilleurs résultats en résistance par rapport à les autres terres crues utilisés et en deuxième la terre rouge d'Echaeba elhamra a m'sila , Le vernis aqueux est un stabilisateur pour un sol brut de haute qualité. La résistance mécanique en (MP) augmente progressivement celons l'augmentation du pourcentage du ciment ajouté. La résistance dépend de plusieurs paramètres dont les plus importants sont :

- le type de terre et sa quantité.
- Dosage en stabilisons (Ciment gris , Ciment blanc ou autre)
- La qualité de la terre.
- L'homogénéité du mélange.
- Du teneur en eau.
- temps du malaxage et de vibration

Bibliographie :

- [1]- Pr Mohamed Bencheikh , La méthode des plans d'expériences (Une invention de la brique de terre crue à haute résistance mécanique et haute durabilité , de l'université de M'sila).
- [2] - Emmanuelle Graffin , 09 /03 /2021 ; La terre crue, un matériau innovant , <https://www.in-interiors.fr/style/responsable/la-terre-crue-un-materiau-innovant/> 16 / 04 / 2023 , 16h 30 m .
- [3].Mekkaoui Hanane. (2018/2019). pfe ,Caractérisation Mécanique de la Brique de Terre Comprimée et Stabilisée(BTCS) sous l'effet des efforts de Compression et de Flexion.
- [4] Mahamat S. (2010). étude comparative entre l'amélioration des briques en terre comprimée stabilisée par le ciment et la chaux éteinte.
- [5] Taallah B. (2014). Etude du Comportement Physico-mécanique de bloc de terre comprimée
- [6] Layeb.A, Halbaoui.A(2017). Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre
- [7] MERNICHE Salim Ecole Nationale Supérieure de Paris Malaquais 14 rue Bonaparte 75006 Paris
- [8] I.GOUAL. Comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf et de sable calcaire de la région de Laghouat Application en construction routière, Thèse de doctorat. (2012)
- [9]Khabbaze Sami , Saied nour el Islem (2020/2021) ; Etude d'un mélange Tuf-Emulsion de Bitume pour assise de chaussée ; Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Travaux publics (voies et ouvrages d'art) ; Université Kasdi Merbah
- [10] "La laine à souffler séduit, la filière s'inquiète", Le Moniteur, 30 novembre 2017 [archive]
- [11] « Laine Minérale : FAQ » [archive], sur Laineminerale.net
- [12] « History | Owens Corning Sales » [archive], sur media.owenscorning.com (consulté le 12 octobre 2016)
- [13] Dictionnaire : Laine de verre [archive] FuturaScience.com
- [14]<https://ar.keepinsulation.com/info/the-difference-between-glass-wool-and-rock-woo-67642362.html> , 23 / 05 / 2023 , 23H16m
- [15] « Laine de verre : isolant en laine minérale – Tout sur l'isolation » [archive], sur www.toutsurlisolation.com (consulté le 31 janvier 2020)
- [16]Revenir plus haut en :a et b National Toxicology Program, 12th ROC (Report on Carcinogen) [archive] ([PDF] fiche d'informations [archive])
- [17]- Jean Étienne Bulet, La Laine et l'industrie lainière, vol. 464, Paris, Presses universitaires de France, coll. 1972-2005, 128 p. (BNF 35428526)
- [18]« FAOSTAT » [archive], sur faostat3.fao.org (consulté le 4 avril 2021) de Midi-Pyrénées ; Rapport final du projet Tercruso ; Institut National des Sciences Appliquées ; Université Paul Sabatier ; Toulouse III
- [19]. - Jean-Emmanuel Aubert ; avril 2013 ; Caractérisation des briques de terre crue
- [20]. (WalterTinsson , (2010).)
- [21]. <https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/thermique-isoler-murs-isolation-interieure-isolation-exterieure-3169/> (13 / 06 / 2023 ,14 H et 50 m).
- [22]<https://www.infociments.fr/betons/notion-de-durabilite-des-betons17/6/23,21h>,
- [23].Salah Yahyau , Le vernis (2012) <http://arabency.com/index.php?module=pnEncyclopedia&func=di>.