

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université Ahmed Draïa Adrar Faculté des Sciences et de la Technologie Département des Sciences de la Technologie



MEMOIRE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière: Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Intitulé

Caractérisation du béton de terre à base des matériaux locaux.

Présenté par :

Melle: DAHBI Asma

Melle: AZZI Roqiya

Evalué par les membres de jury :

Examinateur: Dr. AKACEM Mustapha M.C. A Univ. Adrar

Examinateur: Mr. BADA Abdelmalek **M.A.A** Univ. Adrar

Promoteur: Mr. ABBOU Mohammed M. A. A Univ. Adrar

Année Universitaire : 2021/2022



Dédicace

• Je dédie ce travail à la personne qui a consacré tout ce qu'il a la vie pour plusieurs de ses fils et filles : maman ; père ;

A ma grand-mère.

A mes sœurs.

Pour toute ma famille.

A mes proches amis et collègues qui ont été cinglants dans notre parcours académique.

A mes collègue Roqiya Azzi et à touts les membre de sa famille.

Asma Dahbi

Dédicace

• Je dédie ce travail à la personne qui a consacré tout ce qu'il a la vie pour plusieurs de ses fils et filles : maman ; pèr ;

A mes sœurs.

Pour toute ma famille.

A mes proches amis et collègues qui ont été cinglants dans notre parcours académique.

A mes collègue Asma Dahbi et à touts les membre de sa famille.

Roqiya Azzi

Résumé

Les matériaux économiques à base des produits naturels locaux représentent un intérêt certain

en tant que matériaux de substitution, comme la terre est un matériau naturel, disponible localement,

à faible consommation d'énergie et recyclable, ces qualités en font le matériau de construction du

futur.

Par ailleurs, la wilaya d'Adrar dispose de nombreux gisements pouvant être d'exploités dans la

fabrication des produits terre. Notre travail ayant a pour but de la fabrication d'un béton de terre à

base de ces matériaux locaux qui ont prouvé leur usage depuis des millénaires. Nous avons ciblé

dans cette étude, la préparation un béton de terre stabilisé avec la chaux et le ciment à partir d'argile

et granulats (Sable concassé et graviers) prélevées sur des sites sélectionnés. Dans un premier temps,

une détermination des propriétés physiques et mécaniques des matériaux utilisés (Argile, et

granulats) pour la préparation d'un béton de terre coulé(Mélanges).

Cependant, nous avons préparé des bétons de terre (Coulé) à partir de deux mélanges de

composition différents (squelette) et stabilisés par 4%, 6% et 8% de chaux ainsi que le ciment de

pourcentage 4%, 6% et 8%, avec l'addition de fumé de silice.

Par ailleurs, nous avons effectué des séries des essais sur les bétons de terre (béton de terre

coulé) fabriqués à partir de deux mélanges à l'état frais (Cône d'Abram et table vibrante) et durci

(l'écrasement des éprouvettes cylindriques 15x30cm). Les éprouvettes cylindriques sont conservées

au niveau du laboratoire à une température ambiante dans une durée 60jours et 70 jours.

En outre, la résistance à la compression des mélanges stabilisés par la chaux est légèrement

supérieure par apport aux mélanges stabilisés par le ciment, ces résultats sont préliminaires. Car ce

sujet (Béton de terre coulé) est classé comme un nouveau projet dans notre région.

Finalement, l'effet de l'ajout de chaux et de ciment sur la résistance à la compression est

présenté.

Mots clés: La terre, Stabilisation, Matériaux locaux, Béton

ملخص

تمثل المواد الاقتصادية القائمة على المنتجات الطبيعية المحلية اهتمامًا معينًا كمواد بديلة ، حيث أن الأرض مادة طبيعية ، ومتوفرة محليًا ، واستهلاك منخفض للطاقة وقابلة لإعادة التدوير ، فهذه الصفات تجعلها مادة بناء المستقبل.

إضافة إلى ذلك فإن ولاية أدرار بها العديد من الترسبات التي يمكن استغلالها في صناعة منتجات التربة الطينية. يهدف عملنا إلى تصنيع خرسانة طينية بناءً على هذه المواد المحلية التي أثبتت استخدامها لألاف السنين. لقد استهدفنا في هذه الدراسة تحضير خرسانة ترابية مثبتة بالكلس والأسمنت من الطين والركام (الرمل والحصى المسحوق) المأخوذة من مواقع مختارة. أولاً ، تحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمواد المستخدمة (الصلصال والركام) لتحضير صب الخرسانة الترابية (الخلطات).

ومع ذلك ، قمنا بإعداد خرسانة أرضية (مسبوكة) من خليطين مختلفين التركيب (هيكل) واستقرت بنسبة 4٪ و 6٪ و 8٪ كلس وكذلك نسبة الأسمنت 4٪ و 6٪ و 8٪ ، مع إضافة: دخان السيليكا.

بالإضافة إلى ذلك ، أجرينا سلسلة من الاختبارات على الخرسانة الأرضية (الخرسانة المصبوبة) المصنوعة من خليطين في حالة جديدة (مخروط أبرام وطاولة الاهتزاز) ومصلبة (تكسير العينات الأسطوانية 15×30 سم). يتم تخزين العينات الأسطوانية على مستوى المختبر في درجة حرارة الغرفة لمدة 60 يومًا و 70 يومًا.

بالإضافة إلى ذلك ، فإن مقاومة الانضغاط للخلائط المستقرة مع الجير أعلى قليلاً من تلك الموجودة في المخاليط المثبتة مع الأسمنت ، وهذه النتائج أولية. لأن هذا الموضوع (الخرسانة المصبوبة) يصنف كمشروع جديد في منطقتنا.

أخيرًا ، تم عرض تأثير إضافة الجير والأسمنت على مقاومة الانضغاط.

الكلمات المفتاحية: التربة، التثبيت، المواد المحلية، الخرسانة

Abstract

Economic materials based on local natural products represent a certain interest as substitute

materials, as earth is a natural material, locally available, low energy consumption and recyclable,

these qualities make it the building material of the future.

In addition, the wilaya of Adrar has many deposits that can be exploited in the manufacture of earth

products. Our work aims to manufacture an earth concrete based on these local materials which have

proven their use for millennia. We have targeted in this study, the preparation of an earth concrete

stabilized with lime and cement from clay and aggregates (crushed sand and gravel) taken from

selected sites. First, a determination of the physical and mechanical properties of the materials used

(Clay, and aggregates) for the preparation of a poured earth concrete (Mixtures).

However, we prepared earth concretes (Casted) from two mixtures of different composition

(skeleton) and stabilized by 4%, 6% and 8% lime as well as the percentage cement 4%, 6% and 8%.

, with the addition of fumed silica.

In addition, we carried out series of tests on earth concretes (poured earth concrete) made from two

mixtures in the fresh state (Abram's cone and vibrating table) and hardened (the crushing of the

cylindrical specimens 15x30cm). The cylindrical specimens are stored at the laboratory level at

ambient temperature for a period of 60 days and 70 days.

In addition, the compressive strength of mixtures stabilized with lime is slightly higher than that of

mixtures stabilized with cement, these results are preliminary. Because this subject (Cast earth

concrete) is classified as a new project in our region.

Finally, the effect of the addition of lime and cement on the compressive strength is presented.

Keywords: Earth, Stabilization, Local materials, Concrete

Table de matière

Re	emerciement	
Dé	édicace	
Ré	ésumé	
Ta	able de matière	1
Lis	iste des figures	V
Lis	iste des Tableaux	IX
At	bréviation	XI
Int	ntroduction générale	2
Ch	hapitre 01 Synthèse Bibliographique	3
I.	Introduction:	4
II.	Le béton de terre :	4
III	I Généralités sur les techniques de construction en terre :	5
1-]	-L'adobe :	5
	a-Fabrication d'adobe :	5
2-1	-Les pisés :	7
	2-1-Fabrication du pisé :	8
	2-1-1 Avantages :	9
	2-1-2-Inconvénients	9
	3. Les Blocs de Terre Comprimée :	9
	1-Fabrication du BTC :	10
III	I. Généralités sur les argiles :	14
	1-Définition:	14
	2- Domaines d'études :	
	3-Propriétés des argiles :	
	4- Structure cristalline des argiles :	16
IV	V. Stabilisation	18
	1-Définition:	
	2-Objectif:	
	3-Procédés	19
	4-Le compactage de la terre	19
	4-1- Le compactage dynamique :	
	4-2-Le compactage statique	20

4-3-Stabilisation physique :	20
5-Stabilisation chimique :	20
5-1-La chaux	20
5-2-Ciment:	22
V. La construction en terre dans le monde :	25
VI. La construction en terre dans l'Afrique :	25
VII. La construction en terre comprimée en Algérie :	26
VIII.Conclusion:	28
Chapitre 02 Caractérisation et présentation des matériaux utilisés	29
I. Introduction	30
II. Identification des matériaux utilisés :	30
1-L'ARGILE:	30
2-Granlats:	30
III. Essais d'identification :	30
1- L'Argile :	30
3-2-2 Détermination de la limite de plasticité :	38
3.3.4. Indice de plasticité :	39
3-3 -Essai au bleu de méthylène à la tâche : Norme NF P94-068 :	40
3-2-Granlats :	42
3-2-3-Essai LOS ANGELES	44
3-2-4-Essai Micro Deval	46
3-2-5- Analyse granulométrique des graviers 3/8 et 8/15	49
3-3-Sable :	52
IV. Conclusion:	57
Chapitre 03 : Etude expérimentale	58
I. Introduction	59
II. Méthodologie d'étude :	59
1-Méthodologie de travail	60
III. Caractérisation des mélanges :	61
1-1- Mélange 1 :	61
IV. Méthode de préparation des mélanges et confection des éprouvettes cylindrique :	65
V. Essais et caractéristiques de béton de terre à l'état frais et à l'état durci :	66
1-Béton frais	
1-2- Essai d'étalement à la table à chocs (NF EN 12350-5) :	69
2- Béton durci :	
B- Mélange 02 :	74

IV	-L'influence de la chaux et le ciment sur la résistance de béton de terre étudié :	76
VI.	Conclusion:	78
	nclusion Générale:	
Réf	érences Bibliographiques	82
La l	liste des normes	84
AN	NEXES	86

	Chapitre I	
Figures		Page
Figure I.1	Brique d'adobe	5
Figure I.2	Etape de production d'adobe	6
Figure I.3	Mosquée en pisé édifiée en 1788 (chine)	7
Figure I.4	Technique de construction en pisé	8
Figure I.5	Méthode de fabrication du pisé	8
Figure I.6	Schéma des différentes techniques de construction en terre	9
Figure I.7	Brique de terre comprimée BTS	10
Figure I.8	Préparation du mélange du BTC	11
Figure I.9	Compression de BTS avec une presse manuelle	12
Figure I.10	Séchage et cure de BTC	13
Figure I.11	Observation d'un phyllosilicate (montmorillonite)	14
Figure I.12	Domaine d'étude d'argiles	15
Figure I.13	Structure octaédrique et tétraédrique de couches d'argile	16
Figure I.14	Cycle de la chaux	20
Figure I.15	La cour d'un immeuble du bailleur social paris habitat	24
Figure I.16	Construction en terre au Sénégal	25
Figure I.17	Distribution des constructions en BTC en Algérie	26
Figure I.18	Construction en terre au Tmaskhate	27
Figure I.19	Construction en terre ksar au Timimoune	27

Chapitre II		
Figure II.1	Essai le poids spécifique des grains solides	31
Figure II.2	Appareillage d'analyse par sédimentation	34
Figure II.3	Courbe granulométrique de l'argile utilisée	35
Figure II.4	Détermination de la limite de liquidité WL	36
Figure II.5	Essais de limite de plasticité	38
Figure II.6	Mode opératoire de l'essai de bleu méthylène	39
Figure II.7	Résultat de l'essai de bleu méthylène	45
Figure II.8	Appareil de Los Angeles	48
Figure II.9	Appareil de Micro Deval	50
Figure II.10	Analyse granulométrique	50
Figure II.11	Courbes granulométrique 3/8 et 8/15	51
Figure II.12	Courbe granulométrique du sable concassé	53
Figure II.13	Equivalent de sable	54
Figure II.14	Essai d'équivalent de sable	55
	Chapitre III	1
Figure III.1	Plan de travail	60
Figure III.2	Courbe granulométrique de mélange 1	61
Figure III.3	Résultat de l'essai à la tâche mélange1	62
Figure III.4	Résultat de l'essai à la tâche mélange 1+ ciment	62
Figure III.5	Résultat de l'essai à la tâche mélange 1+ la chaux	62
Figure III.7	Courbe granulométrique de mélange 2	63

Figure III.8	Résultat de la tâche mélange 2	63
Figure III.9	Résultat de l'essai à la tâche mélange 2+ ciment	64
Figure III.10	Préparation des matériaux	65
Figure III.11	Processus de malaxage des mélanges	65
Figure III.12	Le séchage d'éprouvettes cylindrique du béton de terre	66
Figure III.13	Affaissement de notre béton de terre béton	67
Figure III.14	Essai d'étalement à la table à chocs	70
Figure III.15	Essai d'écrasement des éprouvettes du mélange 1+ la chaux	71
Figure III.16	Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux du mélange 1 à 60j et 70j	72
Figure III.17	Essai d'écrasement des éprouvettes mélange1+ ciment	73
Figure III.18	Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage du ciment dans le mélange 1 à 60j et 70j	73
Figure III.19	Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage du ciment pour le mélange 2 à 60j et 70j	74
Figure III.20	Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage du ciment + fumée de silice pour le mélange 2 à 60j et 70j	75
Figure III.21	Résistance à la compression du mélange1 stabilisé par la chaux et le ciment (60j et 70j)	76
Figure III.22	Résultats à la compression à 60j et 70j du mélange2	77

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableaux Page			
	<u>Chapitre I</u>		
Tableaux I.1	Les avantages et les Inconvénients d'adobe	6	
Tableaux I.2	Les avantages et les inconvénients des blocs de terre comprimé	13	
Tableaux I.3	La classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces	18	
Tableaux I.4	la résistance mécanique des ciments	24	
Tableaux I.5	Différentes réalisations de constructions en terre en Algérie (CNERIB 2003)	27	
	<u>Chapitre II</u>	'	
Tableaux II.1	Les poids spécifiques des grains solides (Argile)	31	
Tableaux II.2	Valeurs de Gs pour différents types de sols à 20°C	32	
Tableaux II.3	Résultats d'analyse granulométrique	35	
Tableaux II.4	Résultats de la limite de liquidité(argile)	37	
Tableaux II.5	Résultat de la limite de plasticité d'argile analysée	41	
Tableaux II.6	Résultat de la bleu méthylène et de SST d'Argile	42	
Tableaux II.7	Classification des sols d'après Philipponat	42	
Tableaux II.8	Résultat de la masse volumique absolue	43	
Tableaux II.9	Résultat de la masse volumique apparent	43	
Tableaux II.10	Résultats Propreté superficielle des graviers	44	
Tableaux II.11	Résultats LOS ANGELES des graviers	46	
Tableaux II.12	Résultats du Micro Deval	49	

Liste des Tableaux

Tableaux II.13	Résultats d'analyse granulométrique	51	
Tableaux II.14	Résultats de la masse volumique	52	
Tableaux II.15	Résultats de l'analyse granulométrique sable concassée	52	
Tableaux II.16	Module de finesse	53	
Tableaux II.17	Résultat d'équivalent de sable utilisée	55	
Tableaux II.18	Nature qualité du sable	56	
<u>Chapitre III</u>			
Tableaux III.1	Valeur de bleu méthylène du mélange 1	62	
Tableaux III.2	Valeur de bleu méthylène du mélange 2	64	
Tableaux III.3	Résultats Affaissement du mélange 1	67	
Tableaux III.4	Résultats Affaissement du mélange 2	68	
Tableaux III.5	Résultats d'étalement du mélange 1	69	
Tableaux III.6	Résultats d'étalement du mélange 2	69	

Abréviation

Abréviation

BTCS : Brique de terre comprimée et stabilisée.

BTC: Brique de terre comprimée

CRA terre : Centre internationaux de la construction en terre.

O: Oxygène

T-O: Tétraédrique- octaédrique

T-O-T: Tétraédrique- octaédrique- Tétraédrique

T-O-T-O: Tétraédrique- octaédrique- Tétraédrique- octaédrique

L.C.P.C: Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées.

 γ s: Poids spécifique des particules solides.

 ρ App : Masse volumique apparente.

*ρ*abs: Masse volumique absolue

ES: Equivalent de sable.

IP: Indice de plasticité.

CaCO3: Carbonate de calcium.

W: Teneur en eau (%).

WL: Limite de liquidité (%).

WP: Limite de plasticité (%).

SST: . Surface spécifique totale (m2/g).

VB: Valeur du bleu de méthylène

Introduction

Introduction générale

Introduction générale

Depuis près de 10 000 ans la terre est l'un des principaux matériaux de construction utilisés sur notre planète. Plus d'un tiers des habitants du globe vit aujourd'hui dans des habitats en terre. Les matériaux de construction en terre crue qui existent depuis des temps immémoriaux, et qui possèdent une grande variété des techniques, sont appelés à revenir comme solution pour enrichir le secteur du bâtiment. Le béton de terre à base d'argile et granulats de carrière offre une adaptation à l'environnement désertique des zones arides et répond aux critères de la durabilité.

Bien que le problème de la résistance de béton de terre est toujours intéressé les ingénieurs en bâtiment, il reste encore difficile à résoudre dans un cadre général. En effet, ce travail de recherche se propose de faire une étude des formulations de béton de terre stabilisé par la chaux et le ciment.

Ce travail de recherche se propose de comparer l'effet de stabilisation des différents pourcentages de la chaux et le ciment avec l'addition de fumé de silice sur la modification de la résistance des bétons de terre préparés. La comparaison porte essentiellement sur les résistances mécaniques des bétons en fonction des durées de cure (60 et 70 jours).

Nous avons structuré notre mémoire comme suit :

- Le premier chapitre qui est consacré à la synthèse bibliographique en vue de donner un aperçu général sur les différentes techniques de construction en terre et donner une idée générale sur les matériaux argileux et leur caractéristique pour finir nous avons présenté les méthodes de stabilisation et particulièrement la stabilisation à la chaux et ciment.
- Le deuxième chapitre est consacré aux caractéristiques des matériaux utilisés pour la fabrication de béton de terre coulé qui sont la terre de nature argile-limoneux extrait à partir de gisement sélectionner ainsi que le sable de concassage et graviers (3/8, 8/15), ainsi qu'aux essais d'identification de ces matériaux locaux : Caractéristiques physiques, mécaniques et physicochimique.
- Le troisième chapitre : Ce chapitre présente la variation de la résistance à la compression de béton de terre en fonction au taux d'ajout de la chaux et le ciment, au préalable nous avons présenté la méthode préparation (formulation) et de la conception des éprouvettes cylindriques des mélanges (mléang1 et mélange2) ainsi que les essais sur le béton frais et durci.

Enfin, la conclusion générale est une synthèse des résultats obtenus décrits aux chapitres précédents.

I. Introduction:

La terre, comme la pierre ou le bois, a été un des premiers matériaux utilisés par l'homme pour construire. Facilement disponible, la terre a été mise en œuvre suivant différentes techniques, selon les régions et en fonction de ses caractéristiques.

Dans ce chapitre nous avons présenté un aperçu général sur les matériaux terre crus et les différentes techniques de fabrication les plus connu à travers le monde, tel que la brique de terre comprimée, l'adobe et le pisé, ainsi que les avantages et les inconvénients.

Par ailleurs, nous avons figurés, l'argile et les différentes familles, ainsi que les techniques de stabilisation.

Pour finir, on a donné un bref historique sur l'utilisation des matériaux terre à travers le monde et en l'Algérie tel que le Sahara Algérien comme notre région (Wilaya d'Adrar).

II. Le béton de terre :

Définition : est un matériau de construction à base de terre crue argileuse, traditionnellement connu sous les termes de pisé ou de torchis.

En construction, les termes que l'usage ou la culture ont consacrés à la terre crue employée comme matériau, sont multiples, mais ils désignent finalement tous un matériau de base très semblable, constitué par une pâte ou une boue contenant plus ou moins d'argile ou de limon - ce que les anciens appelaient terre franche - éventuellement dégraissée au sable, éventuellement fibrée de foin ou de paille ou d'autres fibres végétales, additionnée de différents matériaux qui vont modifier ses propriétés (chaux, urine de bestiaux, etc.) utilisée comme mortier ou appliquée comme enduit (le mortier de terre). En remplissage d'une ossature (torchis, hourdage, bousillage, etc.), empilée (bauge), coffrée (pisé, etc.), découpée ou modelée sous forme de briques crues (adobe, banco, brique de terre compressée, etc.) ou simplement foulée au sol (terre battue).

Tous ces matériaux peuvent être rassemblés sous les appellations génériques de « terre crue » (qui l'oppose principalement à la terre cuite, soit la céramique) ou « matériau terre » ou le terme plus récent de béton de terre qui le raccroche à la famille des bétons.

La dénomination « Béton naturel » peut s'appliquer lorsque le béton de terre ne comporte que des ingrédients naturels et peu dispendieux en énergie. [1].

III Généralités sur les techniques de construction en terre : 1-L'adobe :

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes », on est une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde [2].



Figure I.1 : Briques d'adobe.

L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité du paillé hachée ou d'autre fibre. De nature assez argileuse (jusque à30% de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à Obtenir un état de pate semi ferme (15à30% d'eau). Chaque élément du mélange joue son rôle.

a-Fabrication d'adobe :

La production des blocs d'adobe doit prendre en compte des étapes successives depuis l'extraction de la terre jusqu'au stockage final du matériau prêt à être utilisé en construction [2].



Figure I.2: Etapes de production d'adobe [2].

Tableau I.1 : Les avantages et les Inconvénients d'adobe [2] :

Avantages	Inconvénient
Matière première facilement et	Consomme beaucoup d'eau.
localement disponible.	Temps de séchage en fonction du
Equipement de production peu	climat.
coûteuse.	Faible résistance à l'eau.

2-Les pisés:

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier. Bien construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes [3].

Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « Bon chapeau ».

C'est-à-dire que le soubassement est traité de manière à éviter les remontées capillaires, (Le plus souvent en galets, en pierre ou en briques de terre cuites maçonnées) et le débord de toiture est suffisant pour éviter le ruissellement de l'eau sur la façade. Le pisé, quant à lui, est en fait la compaction d'un volume de terre à l'intérieur d'un coffrage de façon manuelle en utilisant un pilon ou à l'aide de machinerie spécialisée [3].



Figure I.3: Mosquée en pisé édifiée en 1788(chine) [3].

2-1-Fabrication du pisé:

Le mode de production du pisé est d'un principe assez simple : la terre est déversée dans un coffrage puis compacté.

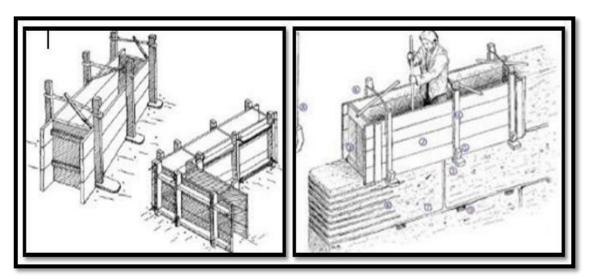


Figure I.4 : Technique de construction en pisé [3]. MAHKER

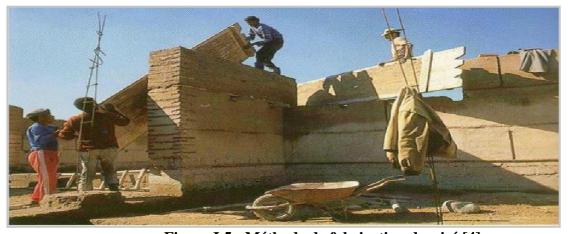


Figure I.5 : Méthode de fabrication du pisé [4]

2-1-1 Avantages :

Pour Richard WESTON, le pisé est utilisé à la fois pour des raisons esthétiques et écologiques, par un nombre croissant d'architectes.

La construction en pisé était une construction peu chère et solide. Le matériau est pris in situ. La terre extraite du sol était quasiment prête à l'emploi, elle ne nécessitait presque aucune transformation ni séchage [5]

2-1-2-Inconvénients

Très spécifique, la construction en pisé nécessitait beaucoup de main d'œuvre.

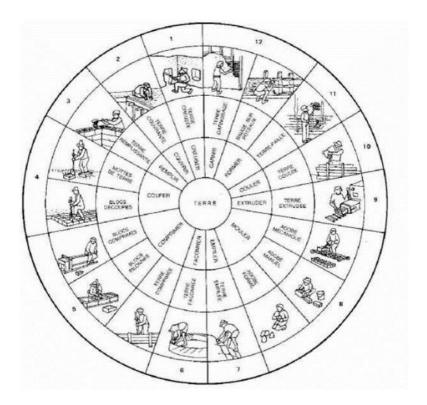


Figure I.6 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006) [6]

3. Les Blocs de Terre Comprimée :

Le bloc de terre comprimé est une évolution moderne du bloc de terre moulé, plus communément dénommé bloc d'adobe. L'idée de compacter la terre pour améliorer la qualité et la résistance de bloc de terre moulée est pourtant ancienne et à l'aide de pilons de bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée [6].

Le BTC est très régulier en forme et en dimension, ils sont pleins ou perforés ce qui permet de réaliser des travaux de maçonnerie très variés.

Les blocs de terre comprimés, sont fabriqués à partir de terre humide et compactée dans une presse manuelle.





Figure I.7 : Brique de terre comprimée BTC.

Le bloc de terre comprimé peut être stabilisé. Dans ce cas on parle alors de « bloc de terre comprimé stabilisée ». Stabiliser la terre, c'est modifier les propriétés d'un système terreau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec des applications particulières [6].

1-Fabrication du BTC:

La production du BTC est un processus en trois étapes

- Préparation de la terre.
- Compression.
- Séchage et cure.

• Préparation de la terre :

La sélection d'une terre avec une bonne granularité et une bonne cohésion est essentielle.

En général, la matière première doit subir une préparation avant la phase de compression.

• Les principales opérations sont :

Pulvérisation de la matière première et élimination par criblage des plus gros grumeaux d'argile, des pierres éventuelles pour obtenir un mélange pulvérulent avec lequel le stabilisant pourra se mélanger au mieux Mélange de la terre et du stabilisant puis humidification du mélange.



Figure I.8 : Préparation du mélange de BTC [7].

• Compression:

Va donner sa forme calibrée à la brique et aussi assurer sa résistance mécanique. On distingue tout d'abord les presses manuelles qui utilisent un bras de levier agissant sur un piston qui compresse le béton de terre contenu dans un moule. Elles présentent un faible rendement car elles nécessitent plusieurs manipulations.



Figure I.9: Compression de BTC avec une presse manuelle.

• Le séchage :

C'est une phase importante dans la chaîne de fabrication des briques en terre compressée. En effet c'est au cours de cette étape que la prise de la chaux aura lieu. La phase de séchage est doit être progressive puisque l'évaporation de l'eau présent dans les briques doit se lentement. Pour ne pas

perturber le cycle du séchage, les briques doivent être mises à l'abri des intempéries mais aussi du vent. Ce dernier pourrait entraîner un séchage trop rapide.



Figure I.10 : Séchage et cure de BTC.

Tableau I.2 : Les avantages et les inconvénients des blocs de terre comprimé [7].

Avantages	Inconvénient
100% naturel,	Matériau relativement difficile à
Respect d'environnement,	trouver,
Isolation acoustique intéressante grâce à leur densité,	Fabrication des briques longue et fatigante,
Qualités d'inertie thermique et d'assainissement,	Main d'œuvre importante (même sur une petite surface, le besoin en terre étant
Très bon regulator hygrométrique,	Toujours très important),
Ne nécessite pas forcément l'application d'un enduit ou d'une peinture de finition,	Fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite,
Finition lisse,	Limite architecturale contraignante (longueur maximum d'une paroi entre
Matière première naturelle et non toxique,	deux angles inférieurs à 6m), Ne servent que dans la réalisation
Absorbe les odeurs,	intérieure des murs.
Richesse architecturale de formes, de lignes	

III. Généralités sur les argiles :

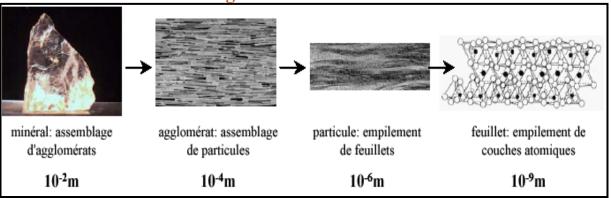


Figure I.11: Observation d'un phyllosilicate (Montmorillonite) à différentes.[8]

1-Définition:

Les argiles, ou roches argileuses sont un mélange de minéraux et d'impuretés cristallines. Souvent hydratés, de forme lamellaire ou fibreuse. Telles que les argiles sableuses, les argiles calcaires ou marnes et les argiles bitumeuses [9].

Le terme "ARGILE" désigne non seulement une formation rocheuse, mais définit aussi un domaine granulométrique comprenant des particules minérales dont le diamètre des grains est inférieur à deux micromètres ($< 2 \mu m$) [9]

L'intérêt accordé ces dernières années à l'étude des argiles par de nombreux laboratoires dans le monde se justifie par :

- Leur abondance dans la nature,
- L'importance des surfaces qu'elles développent,
- La présence de charges électriques sur ces surfaces,
- L'échangeabilitédes cations interfoliaires responsables de l'hydratation et du gonflement, ce qui confèrent à ces argiles des propriétés hydrophiles.

L'argile brute est constituée généralement d'un composant minéral de base (kaolinite, montmorillonite, etc...) et de certaines impuretés.

Les impuretés sont constituées de :

* Oxydes et hydroxydes de silicium : (le quartz et la cristobalite).

- * Minéraux ferrifères : l'hématite Fe2O3, la magnétite Fe3O4.
- * Carbonates : la calcite CaCO3, la dolomite CaMg (CO3)2.
- * Oxydes et hydroxydes d'aluminium : La gibbsite Al (OH)3.
- * Matières organiques.

2- Domaines d'études :

Selon sa variété, l'argile se révèle être un minéral très utile. On peut ainsi faire des tuiles et briques, des poteries en jouant sur sa capacité de modelage une fois mélange à l'eau. L'argile sert aussi à la fabrication du ciment. Les argiles apportent aux géologues des informations sur les conditions environnementales (source, condition de formation, diagenèse...). Les ingénieurs pétroliers déduisent les conditions thermiques des gisements (degré de maturation). Les ingénieurs en génie civile s'intéressent aux propriétés des argiles en tant que matériel industriel (réfractaires, matériaux de construction). Les agronomes analysent les propriétés d'hydratation et d'adsorption des argiles pour concevoir les fertilisants (Figure 11).

catalyseurs organo-argiles Génie colloïdes les boues de forage Huiles papier Chimie de agriculture l'argile Minéralogie Pétrologie Minéralogie de l'argile sédimentaire Géologie Pétrologie L'altération économique Diagenèse hydrothermale Stratigraphie Céramique Les dépôts d'argile

Figure I.12: Domaines d'études des argiles.

3-Propriétés des argiles :

Les propriétés des argiles sont :

- Les argiles avec leur faible taille confère une forte réactivité chimique et physique ainsi une importante surface de contact.
- Les argiles sont des minéraux alumino-silicatés appartenant à la famille des phyllosilicates dont l'unité de base et le feuillet.

- La présence des sels minéraux rend l'argile fortement sensible aux molécules polaires d'eau. Cette sensibilité se traduit par le gonflement, le retrait et le changement des propriétés mécaniques.
- Les argiles ont des propriétés chimiques du fluide hydratant. [10]

4- Structure cristalline des argiles :

Deux éléments essentiels, le silicium et l'aluminium entourés d'oxygènes et d'hydroxyles, constituent le réseau cristallin fondamental. Le silicium occupe le centre d'un tétraèdre et l'aluminium celui d'un octaèdre. L'accolement de plusieurs tétraèdres ou de plusieurs octaèdres constitue une couche correspondante. [10]

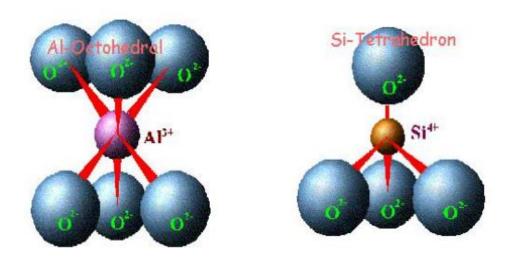


Figure I.13: Structure octaédrique et tétraédrique des couches d'argiles. [10]

La superposition des couches tétraédriques et octaédriques forme un feuillet élémentaire séparé souvent par un espace interfoliaires. Cet espace interfoliaires peut être vide, comme il peut renfermer des cations alcalins ou alcalino-terreux et des molécules d'eau. Ces cations peuvent quitter facilement l'espace inter foliaire et être remplacés par d'autres cations.

Classification des minéraux argileux Les travaux de l'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles) (1966-1972) et plus tard, ceux de Pédro, ont permis d'aboutir à une classification des argiles (Tableau 1) qui repose sur l'utilisation des critères suivants : la structure et l'épaisseur du feuillet. On distingue ainsi 4 groupes : [10]

Les minéraux de type 1 : (feuillet à deux couches ou série Te. Oc) : appelés ω aussi série à 7 Å, correspondent au groupe de la kaolinite.

Les minéraux de type 2 : (feuillet à trois couches ou série Te.Oc. Te) : appelésω aussi série à 10 Å. Les feuillets comportent une couche octaédrique (alumineuse) et deux couches tétraédriques (siliceuses) ; l'épaisseur du feuillet varie de 9.3 à 15 Å. Cette série se divise en deux groupes :

- a) Groupe avec un espace interfoliaires constant, cas des micas d = 10 Å avec des cations K+dans l'espace interfoliaires.
- b) Groupe avec un espace interfoliaires qui varie, cas des smectites et des vermiculites avec d = 15 Å.

Les minéraux de type 2.1 : (feuillet à quatre couches ou série Te. Oc. Te. Oc) : appelés aussi série à 14 Å; ce type comprend une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques avec un espace interfoliaires constitué par une couche octaédrique et correspondent au groupe du chlorite d= 14 Å.

Minéraux interstratifiés : un minéral interstratifié régulier est formé de l'empilement régulier de différents types de feuillets de minéraux argileux simples, l'empilement se fait selon des séquences répétitives. Un minéral interstratifié est considéré comme irrégulier si l'empilement des feuillets est aléatoire.

Tableau I.3 : La classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces.

		Structure
Groupe de Minéraux Argileux	Espèce Minérale	T = couche de tétraèdre
Argueux		O = couche d'octaèdre
	Kaolinite	
		Minéraux à 2 couches
Kaolinites	Halloysite	
	5.1.	T-O T-O
	Dickite	

	Montmorillonite	
Smectites	Saponite	Minéraux à 3 couches T- O-T T-O-T
	Beidellite	
	Nontronite	
	Illite, Vermiculite	
Illites Vermiculites Micas	Muscovite	H2O , cations
innes y commentes ividus	Biotite	
Chlorites	Chlorite	Minéraux à 4 couches T-
		O-T-O T-O-T-O

IV. Stabilisation

1-Définition:

La stabilisation est l'ensemble des procédés permettant d'améliorer les caractéristiques d'une terre, afin de créer un matériau permettant la fabrication des blocs de terre comprimée [12].

2-Objectif:

En stabilisant, nous intervenons sur la texture et structure de la terre. Cinq opérations possibles sont :

- La réduction de volume de vide entre les particules ;
- La fermeture des vides qui ne peuvent être supprimés ;
- L'augmentation des liens entre les particules.

Améliorer les caractéristiques mécaniques de la terre (résistance à la compression, cohésion) en réduisant les vides entre les particules, en améliorant ou en créant des liaisons entre les particules.

Réduire la sensibilité à l'eau (gonflement, retrait) et la perméabilité en bouchant les vides entre les particules.

3-Procédés

Trois procédés permettent de stabiliser la terre :

a-Stabilisation mécanique : le compactage de la terre modifie se densité, sa résistance mécanique ainsi que sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité.

4-Le compactage de la terre

Le compactage est une technique qui consiste à augmenter la masse volumique d'un sol en diminuant son volume, donc en réduisant ses vides.

En terrassements routiers, l'efficacité du compactage se définit, de manière générale, par sa capacité d'atteindre une densité sèche moyenne sur une épaisseur ou une profondeur donnée en un nombre de passes limite.

Pour la fabrication de BTC, le compactage est en général produit par la mise en compression de la terre dans un moule, via une presse.

Il existe plusieurs types de compactage :

- Compactage dynamique
- Compactage statique
- Compactage par vibro-compression

4-1- Le compactage dynamique :

Est utilisé en géotechnique routière lors de la mise en œuvre du sol pour la construction des ouvrages :

- Remblais routiers
- Remblais de voies ferrées
- Digues et barrages en terre
- Plates-formes pour bâtimentetc.

Pour optimiser le compactage, il existe deux grands types d'essais correspondant à des modes opératoires de compactage sur chantier :

- Essai Proctor normal
- Essai Proctor modifié

Ces deux essais permettent d'étudier et/ou optimiser la mise en œuvre des matériaux, sans permettre d'étudier leur comportement en service.

4-2-Le compactage statique.

Il consiste à imprimer un effort croissant sur un matériau, de façon à le comprimer dans un moule. Dans « l'essai de compactage statique », le matériau est compacté de façon quasistatique, et permet la fabrication d'éprouvettes homogènes qui serviront, d'une part pendant le compactage pour déterminer les paramètres de mise en œuvre, et d'autre part pour l'étude du comportement en service (Rc, Rt...).

La vibro-compression

Ce mode de compactage associe la vibration du moule et l'application d'une charge de compression, en général assez faible. Il est utilisé pour la mise en œuvre des produits béton.

4-3-Stabilisation physique:

Les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur sa texture, c'est-à-dire en mélangeant judicieusement des fractions de grains de taille différentes.

5-Stabilisation chimique:

D'autres matériaux au des produits chimiques peuvent être ajoutés à la terre. Les liants (ciment et chaux éteinte) créent entre les grosses particules du sol des liaisons mécaniquement résistantes même si le matériau se trouve ensuite en présence d'eau.

5-1-La chaux Définition :

Est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique (pyrolyse) du calcaire. Elle est utilisée depuis l'Antiquité, notamment dans la

construction. Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce

produit.

Cycle de la chaux :

Les produits dérivés du calcaire (CaCO3) possèdent la capacité unique d'être transformés et de reprendre leur forme originale. Le cycle de la chaux consiste à cuire le calcaire pour former la chaux vive (CaO). La chaux éteinte (Ca (OH)2) peut alors être produite en ajoutant de l'eau à la chaux vive. Le dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère peut alors réagir avec la chaux éteinte pour la reconvertir en calcaire [13].

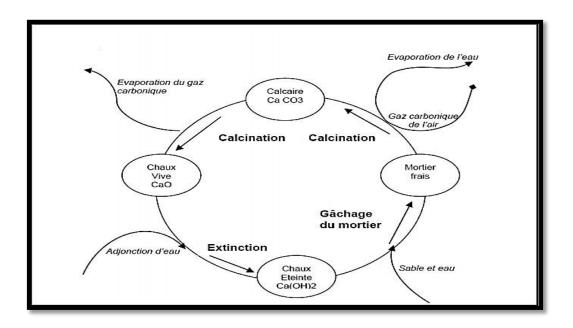


Figure I.14: Cycle de la chaux [13]

A-Chaux aériennes

La chaux aérienne, que l'on trouve sous l'appellation standard CAEB (chaux aérienne éteinte pour le bâtiment) est déterminée par la norme NFP 15510.elle correspond à la chaux aérienne, très pure

A-1 Chaux vive:

CaCO3
$$\longrightarrow$$
 CaO + CO2 (chaux vive).

A-2 Chaux éteinte :

La chaux est obtenue à partir d'un calcaire très pur, qui, porté à une température d'environ 1000 degré, et suite à une réaction chimique se décompose en chaux vive (CaO) et en gaz carbonique.

CaO + CO2
$$\Longrightarrow$$
 CaCO3

Après cuisson, la chaux vive garde le même aspect physique mais sa masse volumique apparente devient plus faible.

Elle réagit au contact de l'eau avec un fort dégagement de chaleur, puis se transforme en une poudre blanche appelée chaux éteinte (Ca (OH) 2 [13].

$$CaO + H2O \longrightarrow Ca(OH)2$$

5-2-Ciment:

A-Définition:

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant, les 1450 °C Broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables.

Les travaux effectués ont montré que les principaux composés du ciment portland sont :

- Le Silicate Tricalcique (Alite): 3CaO.SiO2 (C3S);
- Le Silicate Bicalcique (Belite): 2CaO.SiO2 (C2S);
- L'Aluminate Tricalcique : 3CaO.Al. O3 (C3A) ;
- L'Alumino-Ferrite Tétracalcique : 4CaOAl2O3.Fe2O3 (C4AF) ;

Et d'autres éléments tels que les sulfates, les alcalins ... etc.

La pâte du ciment est le constituant à l'origine de la cohésion du béton, elle représente 20% à 50% du volume total, se caractérise par sa capacité à s'hydrater et à former une matrice solide qui lie les granulats entre eux.

La pâte du ciment se constitue du ciment anhydre, d'eau et d'éventuels adjuvants additifs.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO2) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse [14].

B- Classification des ciments :

B-1-Classification suivant la composition :

Dans l'littérateur, le ciment classifier selon différents critères, tel que : le mode d'utilisation, la performance...ect, le critère essentiel et le plus commune utiliser c'est la composition chimique de ciment ; et selon ce critère en les classer selon le pourcentage de Clinker et par la

suite les pourcentages des compotions complémentaires (les ajouts), il existe cinq catégories de ciments courants reconnus :

- CEM I: Ciment Portland Artificial;
- CEM II : Ciment Portland Composé ;
- CEM III : Ciment de Haut Fourneau ;
- CEM IV : Ciment Pouzzolanique ;
- CEM V : Ciment aux Laitiers et aux Cendres.

Ces ciments sont différents par le type d'ajout, on trouve :

Laitier Granulé De Haut Fourneau:

Obtenu par refroidissement rapide du laitier fondu provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau ; il contient au moins deux tiers en masse de laitier vitreuse et présente des propriétés hydrauliques, après avoir subi une activation convenable.

Matériaux Pouzzolaniques:

Sont des substances naturelles ou artificielles siliceuses ou silico alumineuses, ou une combinaison de celles – ci contenant de l'oxyde de fer (Fe2O3) et d'autres oxydes mais la teneur en (SiO2) réactif doit être au moins égale à 25 % en masse.

Cendres Volantes:

Produits pulvérulents de grande finesse proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques. On distingue deux familles :

Cendres Volantes Siliceuses:

Sont principalement des particules sphériques ayant des propriétés Pouzzolaniques, constituées essentiellement de silice (SiO2) et d'alumine (Al2O3).

Cendres Volantes Calcique:

Présentent des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolanique, contenant une teneur en oxyde de calcium (CaO) réactif >10% en masse, le reste était de la silice (SiO2), d'alumine (Al2O3), d'oxyde de fer (Fe2O3).

Filler Calcaire:

est un matériau très finement broyé, il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers, tout en présentant une certaine activité physico- chimique en favorisant l'hydratation des silicates tricalciques.

Fumée De Silice:

Provient de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours. Elle est formée de particules sphériques contenant au moins 85 % en masse en silice amorphe.

B-2-Classification suivant les résistances à la compression :

Comme on a mentionné précédents, plusieurs classifications de ciment dépendent aux déférents facteurs, ci-dessous un tableau (Tableau I-1) classifier le ciment selon leurs résistances a la compression. [14].

Tableau I.4 : la résistance mécanique des ciments

	Résistance à la compression (MPA)			
Classe de résistance	Résistance à	à court terme	Résistance	e courante
	2 jours	7 jours	28 j	ours
32.5N	-	≥16.0	≥32.5	≤52.5
32.5R	≥10.0	-		
42.5N	≥10.0	-	≥42.5	≤62.5
42.5R	≥20.0	-		
52.5N	≥20.0	-	≥52.5	-
52.5R	≥30.0	-		

V. La construction en terre dans le monde :

La terre crue, matériau de construction naturel, revient aujourd'hui avec vigueur et inventivité sur le marché du BTP, dans le monde. Les professionnels de la construction utilisent tous ses atouts pour nous livrer des bâtiments sains, confortables, économiques et thermiquement performants.

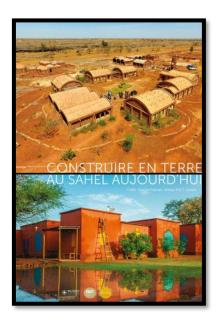


FigureI.15: la cour d'un immeuble du bailleur social Paris Habitat [15]

VI. La construction en terre dans l'Afrique :

Au Sénégal le secteur de la construction est en plein essor. Aujourd'hui, c'est le béton qui est utilisé dans les chantiers mais bien qu'il soit produit localement et pas cher, il s'avère être très polluant. L'industrie mondiale du ciment est en effet responsable de 6 % de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre. Pourtant, des architectes et des entrepreneurs veulent construire autrement. Ils s'inspirent des maisons d'autrefois en terre crue et font revivre les savoir-faire locaux. C'est le cas de Worofila Architecture.

Avec une filière locale encore dynamique et des caractéristiques techniques et thermiques qui en font un des meilleurs matériaux de construction au Sénégal, la terre crue a tout pour connaître le succès. Pourtant, les années qui viennent seront probablement importantes pour que cette technique de construction ancestrale et accessible perdure. Retour sur ces enjeux avec Nicolas Rondet de Worofila Architecture. [16]





FigureI.16 : construction en terre au Sénégal. [16]

VII. La construction en terre comprimée en Algérie :

La terre comme matériau de construction a été largement utilisé en Algérie par l'habitat traditionnel. Diverses régions du pays en témoignent encore de l'utilisation séculaire de ce matériau sous diverses techniques de construction. La figure 17 est présentée les zones qui sont utilisée la construction terre en Algérie

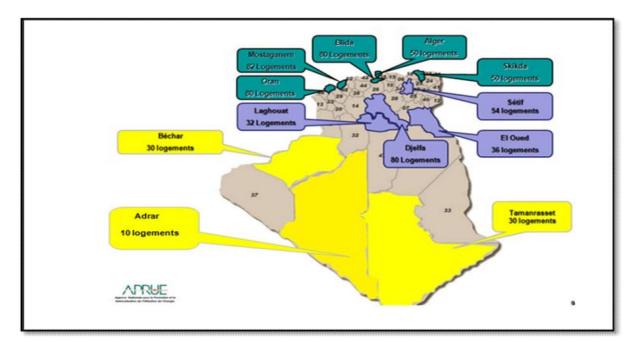


Figure I.17 : Distribution des constructions en BTC en 'Algérie

Tableau I.5 : Différentes réalisations de constructions en terre en Algérie (CNERIB 2003)

1969-1970	136 logements en pisé à Bouhliletprés de Batna
1971-1973	Village de Abadla, en terre remplissant
1972	Habitations à Zéralda en pisé stabilisé (banché coulé)
1973-1975	Village de Mostafa Ben Brahim en pisé
1976	100 logements à Felliacheprés de Biskra, en BTS.
1980	120 logements à Madher, Boussaâda en BTS
1981	40 logements à Chéraga, en blocs de terre comprimés (BTC)
1984	Prototypes bioclimatiques en BTC, à Tamanrasset et à Souidania
1986	10 logements en BTC à Adrar et 10 à Reggane
1994	30 logements en BTC, à Tamanrasset
1998	Prototype expérimental en pisé à Souidania

Les ksour du Sud, que ce soit ceux de la Saoura, du Touat, de Gourara ou del'ahaggar recèlent un patrimoine très riche de construction en terre (Voir figure n18et 19).



FigureI.19 : Construction en terre Ksar Tmaskhate (Adrar)



FigureI.18 : Construction en terre à Timimoun

VIII. Conclusion:

On peut dire que la terre crue est utilisée depuis la préhistoire comme matériau de construction.

Dans ce chapitre, nous avons présenté des concepts et des généralités sur les argiles par origine, la composition minéralogiques et les grands groupes de minéraux argileux, ainsi que leurs classifications, leurs propriétés.

Par ailleurs, la construction en terre et les différentes techniques et modes de stabilisation sont présentées.

Chapitre II Caractérisation et présentation des matériaux utilisés

I. Introduction

Avant de commencer les études de formulation du béton, nous devons vérifier les propriétés des

différents composants qui entrent dans la formulation de notre béton.

Dans cette partie, nous nous intéressons à la présentation des matériaux utilisés et à la

détermination de leurs propriétés physico-mécaniques qui ont été relevées dans un lieu de la région

d'Adrar. Tous les essais sur les granulats (sable + gravier + argile) ont été réalisés au niveau de deux

laboratoires, laboratoire de l'Université Ahmed Daraia et le Laboratoire des Travaux Publics de

l'Ouest (LTPO) antenne d'Adrar.

II. Identification des matériaux utilisés :

1-L'ARGILE:

L'argile est extraite à partir d'un gisement qui se trouve à quelques kilomètres au nord de la ville

d'Adrar (partie Est de la RN6),

2-Granlats:

2-1- graviers et sable concassé :

Les granulats utilisés sont issus au niveau de la carrière de Coussan - Adrar.

III. Essais d'identification :

1- L'Argile:

1-1 Poids volumique des grains solides : Norme NF P94-054

2-1-1- Définition :

Le poids volumique des grains solides du sol (γ s) est le rapport de la masse de ces particules

solides (Ws) par leur volume absolu (Vs); γs en kN/m3.

 $\gamma_s = W_s/V_s$

30

3-1-1-2- Principe de la mesure :

Le poids spécifique des particules solides est obtenu par pesage des différents poids au pycnomètre

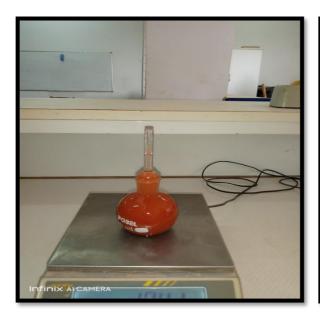




Figure II.1 : Essai de poids spécifique des grains solides.

3-1-1-3- Expression des résultats :

D'après les résultats obtenus de l'essai, la valeur du poids spécifique des grains solides (γs) est :

$$\gamma_{\rm s} = \frac{(W3 - W1) * \gamma_{\rm W}(20^{\circ})}{W2 - W1 - W4 + W3}$$

W1: Pycnomètre vide.

W2 : Pycnomètre + l'eau désilé jusqu'a le repère.

W3 : Pycnomètre + échantillon.

W4: Pycnomètre +échantillon + l'eau

Tableaux II.1 : Le poids spécifique des grains solides d'Argile utilisée (voir annexes)

γs(g/cm ³)	2,580	2,83	2,60
γs (kN/m³)	25,80	28,3	26,0

Moyenne γs	26,7

Tableau II.2: Valeurs de Gs pour différents types de sols à 20° C

Argile	γs (kN/m3)
Quartz	26,6
Calcite	27,2
Dolomite	28,5
Kaolinite	26,1 à 26,4
Illite	26 à 28,6
Montmorillonite	27,5 à 27,8

Selon le tableau ci-dessus le sol (la terre) contient la Quartz et illite

3-1-2- L'analyse granulométrique : Norme NF P94-057

3-1-2-1 Analyse par tamisage:

C'est la détermination de la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un sol, et elle s'effectue en deux étapes :

- le tamisage par voie humide ou tamisage sous l'eau pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de taille supérieure à 80μm.
- la sédimentométrie, pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de taille inférieure à $80\mu m$.

3-1-2-1-1. Principe de l'essai :

- selon la norme NF P94-050, l'essai s'effectue sur une masse supérieure à 20g avec

 $600 D \ge m \ge 200 D$

Avec:

m : masse de l'échantillon exprimé en grammes.

D : dimension maximale des plus gros éléments appréciée visuellement et exprimée en millimètres.

Dans notre cas, le tamisage se fait par la voie humide afin de séparer les particules grossières des particules fines, et ceci a l'aide d'une série de tamis de contrôle dont les dimensions des mailles vont en décroissants du tamis supérieur au tamis inférieur. Après avoir pesé chacun d'eux vide, on fait passer notre échantillon humide à travers la colonne et on pèse chaque tamis après l'avoir séché pendant 24 heures à l'air libre de préférence.

3-1-2-2 Analyse granulométrique par sédimentométrie :

L'essai sert à déterminer la propriété et la distribution en poids des particules fines d'un sol en fonction de leurs dimensions (diamètre inférieur à 80 μm). C'est un essai qui consiste à déterminer les diamètres équivalents des particules sphériques en fonction de leur vitesse de chute selon la loi de STOCKES, dans un environnement visqueux afin d'obtenir le tracé d'une courbe granulométrique pour des particules inférieure à 80 μm.

3-1-2-2-1 Principe de l'essai :

On verse la suspension dispersée dans une éprouvette immédiatement après la fin de l'agitation mécanique en prenant soin de rincer les palettes de l'agitateur mécanique avec de l'eau distillée. On récupère l'eau de rinçage en évitant de perdre les parties de l'échantillon de sol pendant le transfert. On complète en remplissant l'éprouvette par de l'eau distillée jusqu'à la graduation de 1000 cm3.

En même temps, on verse l'eau distillée dans une seconde éprouvette témoin à une même graduation (1000cm3) et on introduit le thermomètre pour mesurer la température de la solution. On utilise le densimètre propre pour mesurer la densité dans la solution.

Pour obtenir une concentration uniforme sur toute la hauteur de l'éprouvette, on agite par un agitateur manuel de manière verticale.

Une fois qu'on arrête l'agitation manuelle, on retire l'agitateur et en même temps on déclenche le chronomètre, cet instant indique le début de l'essai.

On plonge le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après le déclenchement du chronomètre.





Figure II.2: Appareillage de l'analyse granulométrique par sédimentation.

Réalisation des mesures :

Faire les lectures à t : (30s); 1 - 2 - 5 - 10 - 30 - 60 - 120 - 240 et 1440) minutes

Noté a chaque lecture la densité de la solution à : 0.0001 prés et la température de l'eau se trouvant dans l'éprouvette témoin.

Les trois premières lectures 30'' - 1 et 2 min se feront sans retirer le densimètre de la solution.

Après la troisième lecture, on retire le densimètre après chaque mesure

Après la troisième mesure, on plonge le densimètre 30 secondes avant de faire la prochaine lecture.

Pourcentage des éléments inferieurs à D :

Le pourcentage est donné par la formule suivante :

$$p = [100X \frac{V_s}{m} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \cdot \rho_w] (R\tau - R\beta)$$

Tel que:

Vs : Volume de la suspension 1000L ou 2000L

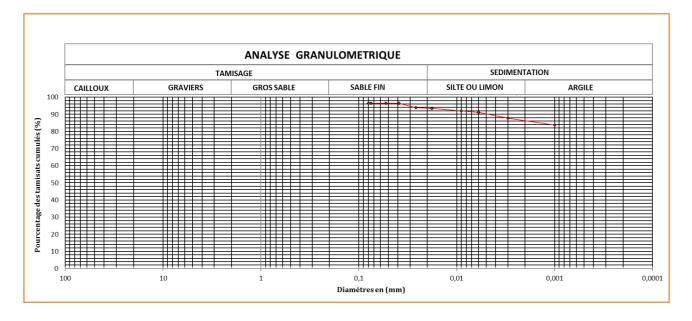
m: Masse du sol sec utilisé (m = 40 g) ou (m = 80 g)

ρs : Masse volumique des grains solides

ρw : Masse volumique de l'eau

Rt : Lecture de l'éprouvette A au temps t

RB: Lecture de l'éprouvette B (Eprouvette témoin)



FigureII.3 : Courbe granulométrique de l'argile utilisée.

TableauII.3 : Résultats de l'analyse granulométrique

	Argile d'Adrar
Sable (>0,02mm)	2,5
Limon (0,02-0,002mm)	6,7
Argile (<0,002mm)	87.2

Le tableau ci-dessus représente les valeurs pour l'analyse granulométrique par sédimentation. Selon l'USCS, Le sol étudié a été classé comme limoneux ou argileux. Selon la forme de la courbe granulaire, et selon la norme USCS (Unified Soil Classification System), on peut conclure que

l'échantillon prélevé a une distribution dimensionnelle continue de sorte que l'on peut dire que n'y a pas d'interruption dans la mesure granulaire.

3-1-3- Essais des limites d'Atterberg :

Le comportement de l'argile dépend essentiellement de son état physique, ce dernier étant défini en fonction de la teneur en eau. L'essai aux limites d'Atterberg permet de connaître la limite de liquidité WL et la limite de plasticité Wp. L'essai se fait sur une partie du matériau passant au tamis 0,40 mm.

3-1-3-1 Préparation de sol:

- Échantillonner et homogénéiser le sol.
- Imbiber une masse de matériau dans un récipient d'eau à la température ambiante pendant 24 heures.
- Tamiser ce matériau par une voie humide sur un tamis de 40µm;
- Recueillir le matériau dans un bac.
- Après une durée de décantation d'un moins 24h, l'eau est siphonnée sans entrainer des particules solides.

3-1-3-2- Détermination de la limite de liquidité :

3-1-3-2-1-1- Principe de l'essai :

- Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Répartir avec la spatule dans la coupelle propre et sèche une masse de sol.
- Étaler la pâte pour recouvrir le fond de la coupelle, sauf une partie d'environ 3cm, et son épaisseur au centre est de l'ordre de 15 à 20 mm.
- Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer eten le tenant perpendiculairement à la surface de la coupelle.
- Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande.
- Actionner la gamme de façon a soumettre une série de chocs à la cadence d'un coup par seconde.
- Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1cm.

Observations:

La limite de liquidité WL est la teneur en eau du matériau qui correspond conventionnellement à une fermeture sur 1cm des lèvres de la rainure après 25 coups. Elle est calculée à partir de la droite moyenne ajustée sur le couple des valeurs expérimentales.

La limite WL est obtenue pour une valeur N égale à 25, elle est exprimée en pourcentage et au nombre entier entre le plus proche.





Figure II.4 : Détermination de la limite de liquidité WL

Tableau II. 4 : Résultats de la limite de liquidité (Argile)

Numéro de la tare	D	E	F
Poids total humide (g)	43,3	32,8	31,2
Poids total sec (g)	36,9	27,5	26,4
Poids de la tare (g)	27	18,5	15,5
Poids de l'eau (g)	6,4	5,3	4,8
Poids sec de l'échantillon (g)	9,9	9	10,9
Teneur en eau W (%)	64,64	58,88	44,03
Nombre de coups	19	23	31

On en déduit WL correspondant à N=25 coups, on a : WL= 77.8%

3-2-2 Détermination de la limite de plasticité :

3-2-2-1 Mode opératoire :

- Former une boulette à partir de la pâte préparée de la limite plasticité
- Router la boulette sur une plaque lisse à la main de façon à obtenir un rouleau qui est aminci progressivement jusqu'à qu'il atteint 3mm de diamètre.
- L'amincissement du rouleau se fait de manière continue et sans effectuer de coupure dans le sens de sa longueur.
- Le rouleau au moment où il atteint un diamètre de 3mm, il doit avoir environ 10cm de longueur et ne doit pas être creux.
- La limite de plasticité sera obtenue lorsque simultanément le rouleau se fissure sur une hauteur de 2 à 3 cm et que son diamètre atteint 3mm environ.
- Réintégrer le rouleau à la boulette si aucune fissure n'apparaît.
- Reformer un nouveau rouleau.
- Peser et étuver la masse prélevée en deux fois.
- Étuver un deuxième essai sur une nouvelle boulette.



Figure II.5: Essai de limite de plasticité

Les résultats des essais de la limite de plasticité sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau II.5: Résultats de la Limite de plasticité d'argile analysée.

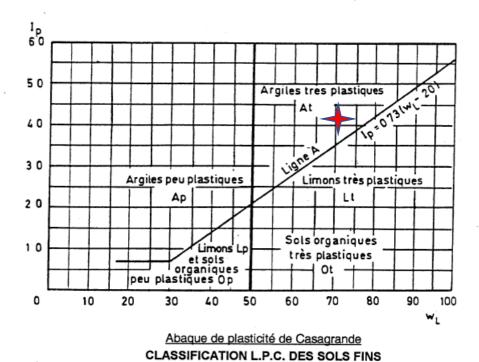
Numéro de la tare	Е	F	G	Н
Poids total humide (g)	19.2	19.4	28.6	28.6
Poids total sec (g)	18.7	18.6	28.2	17.9
Poids de la tare (g)	17.5	16.6	27	15.6
Poids de l'eau (g)	0.5	0.8	0.4	0.7
Poids sec de l'échantillon (g)	1.2	2	1.2	2.3
Teneur en eau W(%)	42	40	33.33	30.43
Wp (%)			36.44	•

3.3.4. Indice de plasticité :

L'indice de plasticité est la différence entre les valeurs de la limite de liquidité et la limite de plasticité.

$$Ip = WL-WP = 41.36$$

les limons très plastiques : L_t
 les limons peu plastiques : L_p
 les argiles très plastiques : A_t
 les argiles peu plastiques : A_p



Suivant le diagramme de classification ci-dessus nous pouvons dire que les sols d'Adrar est une argile très plastique

3-3 -Essai au bleu de méthylène à la tâche : Norme NF P94-068 : 3-3-1 Définition :

La valeur de bleu notée VB et exprimée en grammes de bleu de méthylène par 100 g de matériau, est la quantité de ce colorant qui est nécessaire pour recouvrir d'une couche non moléculaire les surfaces internes et externes de toutes les particules argileuses présentes dans 100 g de sol. Montre les différents accessoires de l'essai au bleu, par contre montre la finalité de l'essai des deux argiles en respectant l'organigramme.



Figure II.6: Mode opératoire de l'essai de bleu méthylène.

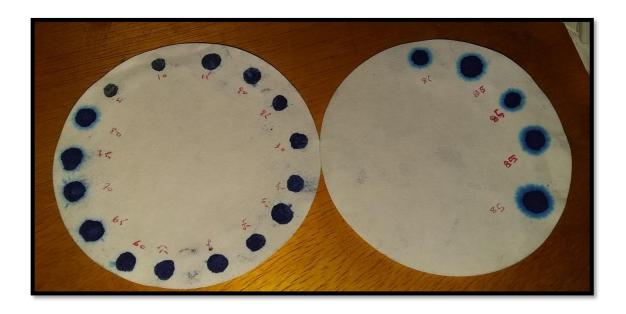


Figure II.7: Résultat de l'essai de bleu méthylène

Calcul de la valeur de bleu de méthylène :

VB=10*V/M

Avec:

VB : valeur de bleu de méthylène.

M : est la masse de l'échantillon, en grammes, et V est le volume total de solution de colorant injectée, en centimètres cube.

La surface spécifique totale SST d'argile : SST $(m^2/g) = 20.93*$ VB.

Les valeurs de VB obtenues sont regroupées dans le tableau suivant

Les valeurs de VB obtenues sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau II.6: Résultats de bleu méthylène et de SST d'Argile.

Echantillons	VB	SST(m ² /g)
Argile	2,94	61,55

Tableau II. 7 : Classification des sols d'après Philipponat in [13]

Valeur au bleu VB	Type de sol
VB < 0.2	Sols sableux
0.2 < VB < 2.5	Sols limoneux
2.5 < VB < 6	Sols limoneux argileux
6 < VB < 8	Sols argileux
VB > 8 Sols très argileux	Sols très argileux

3-2-Granulats:

3-2-1-Graviers :(3/8 et 8/15):

3-2-1-1 Masse volumique absolue :

Entend par masse absolue la masse de l'unité de volume absolue d'un corps (volume matière plein).la masse volumique spécifique du gravie peut être calcule par la formule suivant :

$$\gamma_{Abs} = \frac{Ma}{Vs}$$

γAbs : la masse volumique absolue.

Ma : la masse de gravie a l'air.

Vs : V2-V1, volume absolue de gravie.

V1: volume d'eau initial.

V2 : volume d'eau après l'introduction de l'échantillon.

Dans notre cas nous avons trouvé que :

Tableau II.8 : résultats de la masse volumique Absolue

Essai	3/8	8/15
Masse volumique absolue(g/cm ³)	2.63	2.57

3-2-1-1-Masse volumique Apparente

La masse volumique apparente correspond au granulat en vrac sec occupant l'unité de volume.

Elle dépend du tassement des grains.

Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis à l'aide d'un récipient de 1 dm3 en versent lentement les grains entre les 2 mains à 10cm au-dessus du récipient qui est arasé à la règle. Le contenu est pesé.

Tableau II.9 : Résultats de la masse volumique Apparente

Essai	3/8	8/15
Masse volumique Apparente (g/cm ³)	1.36	1.25

3-2-2-Propreté superficielle

Pour savoir la propreté des granulats on utilise l'essai de propreté superficielle suivant la norme NA 463, qui consiste à mesurer le pourcentage d'éléments fins subsistant après lavage.

Dans notre cas, les graviers sont :

Tableaux II.10 : Résultats Propreté superficielle des graviers.

Essai	Gravier 3/8	Exigences NA 5043		
Propreté superficielle (%)	1.14	0.23	≤ 1.5 %	

La propreté des graviers utilisés est acceptable.

3-2-3-Essai LOS ANGELES

1-But de l'essai:

L'essai Los Angeles permet de déterminer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats.

2-Domaine d'application

Cet essai s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans les travaux de Génie-Civil.

3-Appareillage

Un jeu de tamis de dimension convenable, leur diamètre ne devra pas être inférieur à 250 mm.

Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage.

Une machine Los Angeles comprenant.

- Des charges de boulets (constituées de boules sphériques pesant entre 420 et 445 g en acier
 Z 30C (Ø = 47 mm ± 1 mm).
- Un moteur d'au moins 0,75kw assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours / mm.
- Un bac destiné à recueillir les matériaux après essai.
- Un compte tour de type relatif arrêtant automatiquement le moteur au nombre de tours voulus.

4-Mode opératoire:

La quantité envoyée au laboratoire sera au moins égale à 15000g.

Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie en commençant par le tamis le plus grand.

Laver le matériau tamisé et le sécher à 105°C jusqu'à l'obtention de la masse constante.

La charge utilisée sera fonction de la classe granulaire.

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets
4 / 6,3	7
6,3 / 10	9
10 / 14	11
10 / 25	11
16 / 31,5	12
25 / 50	12

Faire effectuer à la machine 500 rotations sauf pour la classe 25 / 50 où l'on effectue 1000 rotations à une machine régulière comprise entre 30 et 33 tours / mm.

Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au-dessus de ce bac sur le tamis de 1,6 mm, le matériau étant pris plusieurs fois afin de faciliter l'opération.

Laver le refus au tamis de 1,6 mm. Egoutter et sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constant.

Peser le refus une fois séché. Soit m'le résultat de la pesée.

Afin que les granulats puissent répondre aux spécifications de fabrication de béton il est donc nécessaire de procéder à l'essai de résistance aux chocs, suivant la norme NA.458.

Dans notre cas:

Tableaux II. 11 : Résultats LOS ANGELES des graviers.

Essai	Gravier 8/15	Exigences NA 5043			
LOS ANGELES [%]	15.32	≤ 40 %			

Les valeurs obtenues montrent que notre gravier peut être utilisé par formulation un béton de qualité.



Figure II.8 : Appareil de los Angeles

3-2-4-Essai Micro Deval

1-But de l'essai:

L'essai Micro Deval permet de mesurer la résistance à l'usure des roches. Cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence d'eau.

2-Domaines d'application :

Le présent essai s'applique aux granulats utilisés dans les travaux publics.

3-Appareillage:

Un jeu de tamis de 1,6-4-6,3-10 et 14 mm, le diamètre des moutures ne devant pas être inférieur à 200 mm.

Matériel pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage.

L'appareil Micro – Deva.

La charge abscisse (constituée des billes sphériques de (10 ± 0.5) mm de diamètre en acier INOX Z30 C13 ($\emptyset = 9.5$ mm).

Un dispositif doit permettre d'arrêter automatiquement le moteur après deux heures d'essai correspondant à 12 000 rotations.

Des bacs.

5-Mode opératoire :

La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire sera de 2000g.

La granularité du matériau (de l'échantillon) est choisi parmi les trois classes granulaires.

$$4/6,3-6,3/10-10/14$$

Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention de la masse constante.

Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.

Pour commencer l'essai, préciser 200 g de l'échantillon.

La charge à utiliser sera fonction de la classe granulaire.

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4 / 6,3	2000 ± 5
6,3 / 10	4000 ± 5
10 / 14	5000 ± 5

Pour effectuer un essai en présence d'eau, on ajoutera 2,5 l replacé le couvercle.

Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) trs / mn pendant 2h ou 12 000 tours.

Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en prenant soin d'éviter les pertes de granulat.

Laver soigneusement à la pisette l'intérieur du cylindre en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.

Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm ; le charge abrasive sera retenue sur un tamis de 8 mm.

Laver l'ensemble sans un jet d'eau et retirer la charge abrasive (à l'aide d'un aimant par exemple). Procéder en plusieurs fois pour faciliter l'opération.

Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.

Peser ce refus au gramme près, soit m' le résultat de la pesée.

6-Calculs

Le coefficient Micro – Deval est par définition la rapport :

Ou m = 500 - m'est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1,6 mm on a donc.

Le coefficient Micro – Deval :

MDE =
$$100 \text{ x}$$
 $\frac{500 - \text{m}'}{500}$

Tableaux II.12: Résultats du Micro Deval.

Essai	Gravier	Gravier	Exigences	
	3/8	8/15	NA 5043	
Micro Deval ([%)	51.74	12.22	≤ 30 %	

Notre gravier présente une bonne résistance à l'usine :



Figure II.9: Micro Deval

3-2-5- Analyse granulométrique des graviers 3/8 et 8/15

Le but de cet essai est de séparer les différents granulats en classe élémentaire. L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension normale inférieure ou égale à 63 mm à l'exclusion des fillers.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

Calcul et résultat :

Tableau II.13 : Résultats d'analyse granulométrique

Echantillon: gravier 3/8et 8/15								
Référence normative : NA2607.								
Classe	Gravier 8/15							
Tamis ouverture (mm)	Tamisât %	Tamisât %						
16	100	96.36						
12.5	100	66.23						
10	100	27.89						
8	99.83	4.11						
6.3	97	1.41						
5	70.99	0.72						
4	50.73	0.29						
2.5	11.42	0						
1.6	2.92	0						
1.25	0.39	0						



FigureII.10: Analyse granulometrique

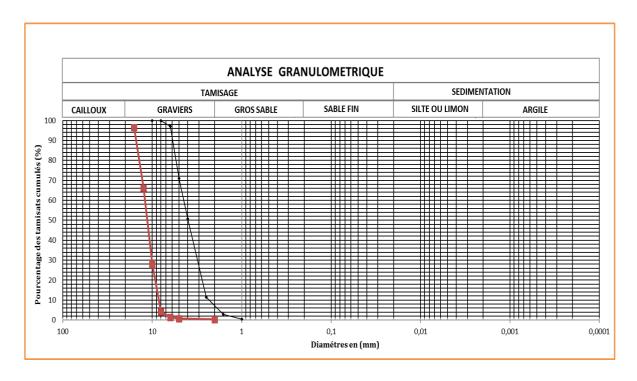


Figure II.11 : Courbes granulométriques 3/8 et 8/15.

3-3-Sable concassé:

Les sables utilisés pour notre recherche sont des sables concassés de la région Adrar "Cossan", et pour l'identification, nous avons réalisé les expériences suivantes :

- La masse volumique
- L'Equivalent de sable
- L'analyse granulométrique

3-3-1-la masse volumique:

Tableau II.14 : Résultat de la masse volumique

Essai	Sable concassé			
Masse volumique absolue [t/m³]	2,70			
Masse volumique apparente [t/m³]	1,35			

3-3-2 L'analyse granulométrique :

L'essai de l'analyse granulométrique (tableau 15 et figure 12) Permet de déterminer par la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon, le sable passe à travers une série de tamis décroissante des mailles en (mm) 5; 2.5 1.25; 0.63; 0.315; 0.16; 0.08.

Tableaux II. 15 : Résultats de l'analyse granulométrique de sable concassé.

Tamis ouverture	5	4	2.5	2	1.6	1.25	0.630	0.500	0.315	0.200	0.160	0.008	fond
Tamis cumulés	99.22	99.02	94.7	77.74	68.89	50.75	25.52	20.7	14.74	10.35	8.14	2.75	1.22

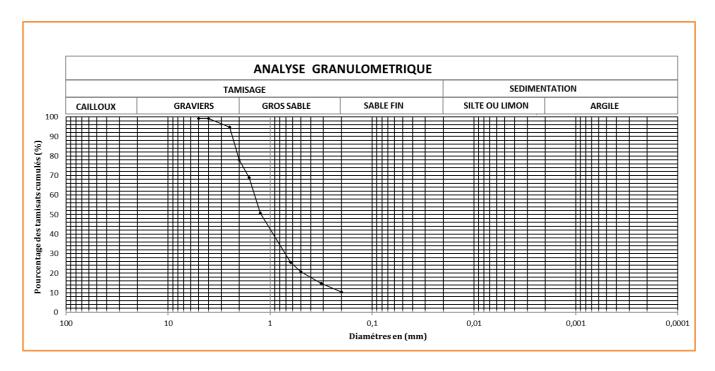


Figure II. 12 : Courbe granulométrique de sable concassé utilisé.

3-3-2-1- Module de finesse :

Le module de finesse Mf d'un sable est égale au centième (1/100) de la somme des refus cumulés des tamis (5, 2.5 ; 1.25 ; 0.63 ; 0.315 ; 0.160) ce paramétré utiliser pour caractériser la finesse des sables. Le module de finesse donne par la relation suivante :

$$Mf = \frac{\sum refus \ cumul\'ee\%}{100}$$

Tableau II. 16: Module de finesse

Essai	Sable	
Module de finesse	3,06	

3-3-3- Equivalant de sable :

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du béton. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sable. On détermine l'équivalent de sable selon la norme NA 455[23], à l'aide de la formule suivante :

$$Es = \frac{h2}{h1} \times 100$$

h1 : hauteur du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette

h2 : hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée.

Es : équivalant de sable.

: Equivalent de sable à vue et au Piston.

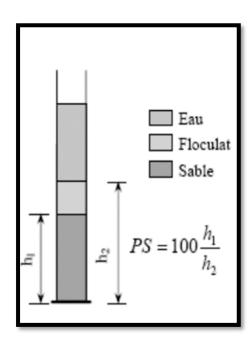


Figure II.13 : Equivalent de sable.



Figure II.14 : Essai d'équivalent du sable.

Dans notre cas, la propreté de sable est :

	Essai01	Essai02	Essai03
ESV	72.48	66.03	51.35
ESP	76.51	71.69	55.6

Tableau II.17 : Nature et qualité du sable.

ES	Nature et qualité du sable		
ES<60	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité		
60 <es<70< td=""><td>Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait</td></es<70<>	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait		
70 <es<80< td=""><td>Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité</td></es<80<>	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité		
>80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau		

Les valeurs obtenues de l'équivalent de sable sont généralement acceptables.

IV. Conclusion:

Dans ce chapitre on a étudié l'identification et les caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux utilisés (sable et l'argile) et a partir les résultats on trouve que la terre utilisée contient de mélange du Quartz illite et classé comme une argile très plastique.

Et aussi on conclure à partir des résultats obtenus par l'essai de bleu méthylène que la terre d'Adrar utilisée est un sol très argileux

Les essais effectués sur les granulats montrent que les graviers et le sable concassé sont présentés une qualité appréciables de point de vue physique et mécanique.

I. Introduction

Dans le cadre d'un projet d'exploitation des ressources minières de notre région, un intérêt particulier a été donné aux matériaux terre locaux (l'argile et les granulats). Ce travail consiste à établir des formulations de béton de terre (argile et graviers) stabilisé par la chaux et le ciment, puis différents essais de caractérisation ont été effectués sur ces bétons à deux états frais et durci.

Par ailleurs, les bétons de terre fabriqués sont à la base à deux mélanges, l'un est stabilisé par la chaux (Mélange 1) et l'autre est stabilisé par le ciment (Mélange 2). Nous nous sommes fixés dans le cadre de notre étude à des taux de chaux et ciment allant de 4 % à 8 %. Une comparaison sera faite entre les bétons de terre conçus (mélange1 et mélange2) par apport à la résistance à la compression. Cela dans un protocole est présenté par la suite.

II. Méthodologie d'étude :

Ce travail a porté le sol argileux (argile) comme matériau de base et nous avons utilisé du sable concassé + gravier pour améliorer certaines propriétés du béton.

Nous avons préparé deux mélanges avec des proportions différentes et des additifs différents.

Le premier mélange : 30 % d'argile, 5 % de 3/8 et 5 % de 8/15 et 60 % de sable et. Le mélange stabilisé par 4%, 6% et 8% de la chaux et de ciment.

Le second mélange : 50% de sable, 30% d'argile, 20% graviers. Nous ajoutons le ciment des pourcentages entre 4% et 8% pour stabiliser le mélange (béton), puis on a ajouté le fumé de silice comme addition.

La figure 1. Illustre le programme de travail dans notre mémoire.

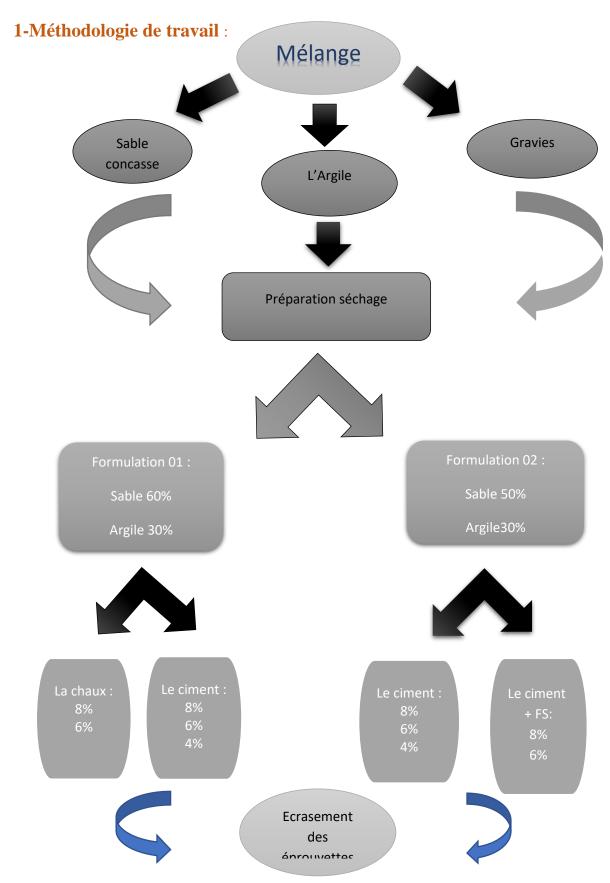


Figure III.1 : Plan de travail

III. Caractérisation des mélanges :

1-1- Mélange 1 :

A- Analyse granulométrique (NFP:

Nous avons effectué une analyse granulométrique sur le mélange1, la courbe granulométrique est présentée dans la figure 2.

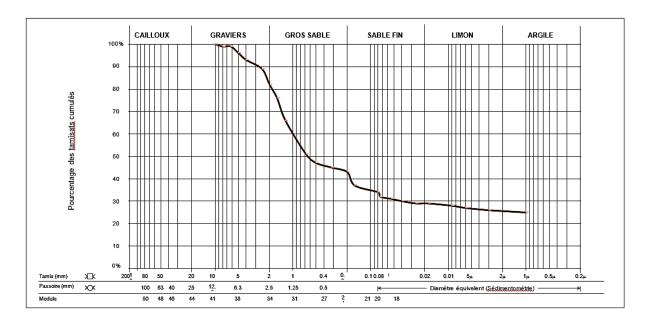


Figure III. 2 : Courbe granulométrique du Mélange1.

B- Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068) :

Selon la norme sus intitulée, nous avons procédé des essais à la tache sur le mélange 1 sans stabilisation et le mélange 1 stabilisé (figures 3, 4 et 5), les valeurs de VB obtenues sont regroupées dans le tableau ci-après

1-Mélange1 sans stabilisation :

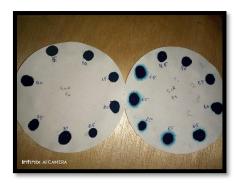


Figure III. 3 : Résultats de l'essai à la tâche mélange 1.

1-2-Mélange 1 + Ciment (4% 6% 8%):

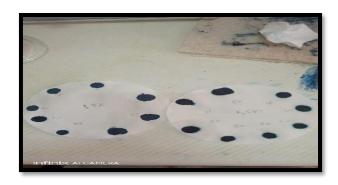


Figure III. 4 : Résultats de l'essai à la tâche mélange 1 +ciment.

1-3-Mélange 1 + la chaux (6%, 8%):





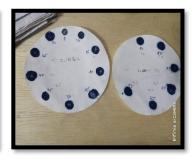


Figure III. 5 : Résultats de l'essai à la tâche mélange 1 + la chaux.

Tableau III.1 : Valeurs de bleu méthylène de mélange 1

Echantillons	VB	SST
Sable+ argile	2,94	61.55
8%Ciment	4,16	87.20
6%Ciment	4,16	87.20
4%Ciment	4,54	95.13
8% Chaux	4,16	87.20
4% Chaux	4,54	95.13

1-2-Mélange 2 :

A- Analyse granulométrique :

Nous avons effectué une analyse granulométrique sur le mélange2, la courbe granulométrique est présentée dans la figure 7.

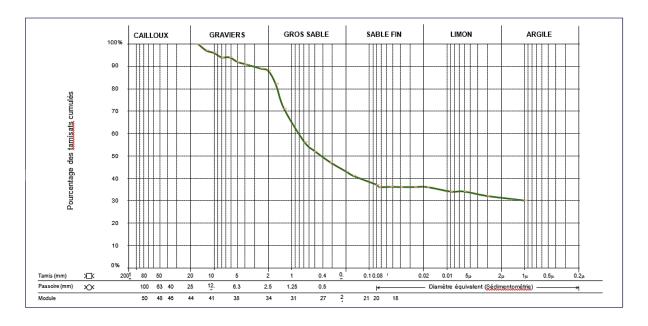


Figure III.6 : Courbe granulométrique du Mélange2.

B- Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068) :

Selon la norme sus intitulée, nous avons procédé des essais à la tache sur le mélange 1 sans stabilisation et le mélange 1 stabilisé (figures 8 et 9), les valeurs de VB obtenues sont regroupés dans le tableau ci-après

1-Mélange2 sans stabilisation:

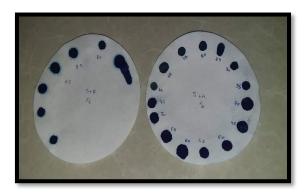


Figure III.7 : Résultat de l'essai à la tâche du mélange 2

C-2-Mélange 2+ ciment (4% 6% 8%):







Figure III.8 : Résultat de l'essai à la tâche mélange 2+ ciment.

Tableau III. 2 : Valeurs de bleu méthylène du mélange 2

Echantillons	VB	SST
Sable + Argile	2.94	61.55
Ciment8%	5	104.65
Ciment 6%	4.16	87.20
Ciment 4%	3.84	80.5

IV. Méthode de préparation des mélanges et confection des éprouvettes cylindrique :

Les meilleures conditions de malaxage sont réunies lorsqu'on dispose d'un sol sec. Cela nécessite un séchage préalable du sol. Après avoir séché l'argile et le sable concassé dans l'étuve pendant 24h à 105 C°, les matériaux (Argile, granulats et stabilisants) sont d'abord mélangés à sec puis malaxer avec l'eau dans une bétonnière l'homogénéisation des mélanges à sec est effectuée pendant deux minute. Le malaxage avec l'eau a été effectuée pendant deux minutes ;

Finalement le mélange est mis en place après le malaxage (figure 10 et 11). Cela pour la réalisation des essais à l'état frais ainsi que préparer des éprouvettes cylindriques 15x30 cm pour l'écrasement.





Figure III.9 : Composition des mélanges





Figure III.10 : Processus de malaxage des mélanges

Condition de cure:

Les échantillons cylindriques sont conservés à l'aire libre à une température est comprise entre 20° et 25° d'une durée de 60j et 70 jours (figure 12).





Figure III.11 : le séchage d'éprouvettes cylindriques de béton de terre.

V. Essais et caractéristiques de béton de terre à l'état frais et à l'état durci :

1-Béton frais :

1-1- Essai de l'affaissement (EN 12382 : 1996)

Sur le béton frais, nous avons déterminé l'affaissement de chaque type de mélange l'affaissement a été mesuré à l'aide du cône d'Abrams, selon la norme NA5102 (figure 13). Cela pour les deux mélanges sans et avec stabilisation.

Toutefois, les résultats obtenus sont insérés dans les tableaux 3 et 4.

Mode opératoire :

Our réaliser cet essai une plaque et un cône d'Abrams sont utilisés.

- La plaque est en acier et a une surface dure et non-absorbante.
- Le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm². Il

porte le nom de son inventeur Duff Abrams.

- Une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie.
- L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes.
- Le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque.
- Le cône est rempli avec du béton frais en trois fois. À chaque fois, chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide de la tige.
- Le cône est arasé avec une tige.
- Le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler.





Figure III 12 : Affaissement de notre béton de terre.

Tableau III 3: Résultats d'Affaissement du mélange 1

Mélange 01	Affaissement (cm)	Plasticité
SABLE+ ARGILE	19.3	Fluide
CH8%	15.5	Fluide
СН6%	23	Fluide
C8%	10.5	Très plastique
C6%	9.6	Plastique
C4%	10.9	Très plastique

Tableau III.4 : Résultats d'Affaissement du mélange 2

Mélange 02	Affaissement (cm)	Plasticité	
C8%	19.5	Fluide	
C6%	7.5	Plastique	
C4%	11.8	Très plastique	
C8+ FS%	21.1	Fluide	
C6%+FS	14	Très plastique	
C4%+FS	15	Très plastique	

1-2- Essai d'étalement à la table à chocs (NF EN 12350-5) :

Nous avons procédé aux essais d'étalement sur les mélanges pour déterminer la valeur d'étalement, selon la norme (NF EN 12350-5).

Tableaux III. 5 : Résultats d'étalement du mélange 1.

Mélange01	Étalement (cm)
СН8%	88
СН6%	78.75
C8%	62
C6%	71.75
C4%	74

Tableaux III. 6 : Résultats d'étalement du mélange 2

Mélange02	Étalement (cm)
C8%	80
C6%	77
C4%	79
C8%+FS	81
C6%+FS	69
C4%+FS	74.5





Figure III.13 : Essai d'étalement à la table à chocs.

2- Béton durci:

Les éprouvettes confectionnées à partir des mélanges préparés au laboratoire, ont été soumis aux essais de compression à 60 et 70 jours, les résultats obtenus sont présentés ci-dessous.

• Résistance à compression :

Conformément à la norme NA 5075, [29] l'essai de compression s'effectue sur les éprouvettes.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$Fc = \frac{F}{AC}$$

Où:

Fc : est la résistance en compression, exprimée en méga pascals (Newtons par millimètres carrés) ;

F: est la charge maximale, exprimée en Newtons;

Ac : est l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, exprimée en millimètres carrés.

Résultats et discussion :

Les résultats de la résistance à la compression des bétons (mélange 1 et mélange 2) la variation de la résistance à la compression du béton aux différents âges 60 et 70 jours.

A-Mélange 01:

Les figures 15 et 16 ci-dessous présentent respectivement, l'essai d'écrasement et la variation de la résistance à la compression du mélange1 en fonction de dosage de la chaux et du ciment ainsi que la durée de conservation.

Par ailleurs les résultats obtenus sont figurés ci-après





Figure III.14 : Essai d'écrasement des éprouvettes du mélange1 + la chaux

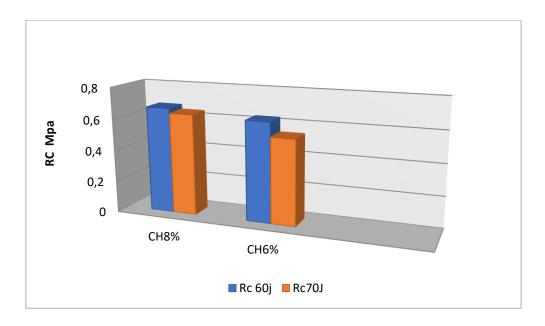


Figure III.15: Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux du mélange 1 à 60j et 70j.

D'après la figure 16, nous avons constaté ce que suit :

- L'augmentation de la résistance à la compression est fonction de l'augmentation de dosage de la chaux.
- La décroissante de la résistance à la compression en fonction de la durée de conservation la résistance à 60jours supérieure à 70 jours dans les deux cas 6% et 8%. Probablement les conditions de confection ou la conservation.





Figure III.16 : Essai d'écrasement des éprouvettes du mélange1 + Ciment

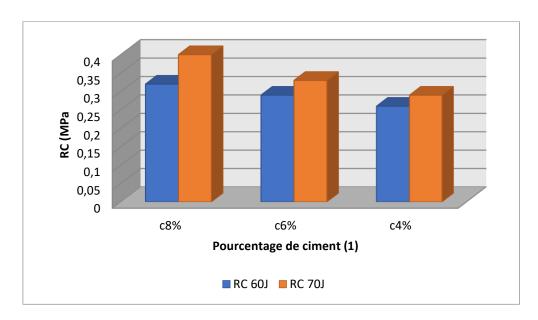


Figure III.17 : Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage du ciment pour le mélange 1 à 60j et 70j.

La figure au-dessus montre que l'ajout du ciment est influé sur la résistance à la compression. Nous pouvons dire que l'augmentation de dosage du ciment engendre une augmentation de la résistance. Cela dans les deux périodes de conservation 60j et 70j.

B- Mélange 02:

Les figures ci-après présentent les résultats obtenus de la résistance à la compression du mélange2+le ciment (8% ,6% ,4%), puis le mélange2 + le ciment + fumée de silice.

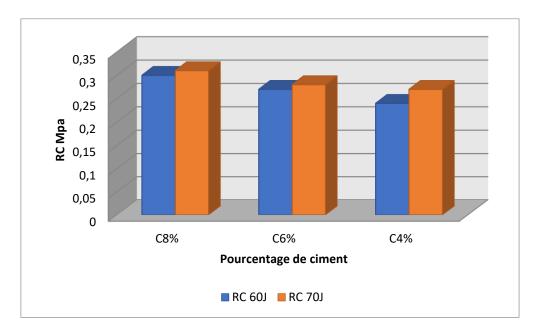


Figure III.18 : Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage du ciment pour le mélange2 à 60j et 70 j.

Suite aux résultats obtenus de la résistance en fonction de l'augmentation de pourcentage du ciment, nous pouvons dire que la résistance à la compression du mélange2 augmente avec l'augmentation de taux du ciment et par la durée de consrevation.

Le dosage de 8% donne la valeur maximale de résistance à la compression dans les deux périodes.

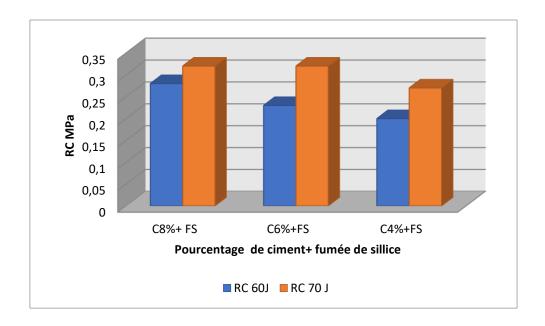


Figure III.19 : Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de ciment+ fumée de Silice pour le mélange2 à 60j-70 j.

La figure III.19 montre que l'augmentation de la teneur en ciment plus la fumée de Silice augmente la résistance à la compression.

Par ailleurs, l'augmentation de la résistance est remarquable cela en fonction de l'augmentation de la durée de conservation.

IV -L'influence de la chaux et le ciment sur la résistance de béton de terre étudié :

Les figures III(20, 21)présentent l'influence d'ajout de la chaux et le ciment sur la résistance des mélanges 1 et 2 dans deux périodes différentes.

Les résultats obtenus sont illustrés que le temps de conservation (l'âge) fait une amélioration positive sur la résistance mécanique. Cette observation dans le mélange 2 stabilisé par l'ajout du ciment. Nous avons remarqué que l'augmentation de la résistance à la compression est en fonction de l'augmentation du pourcentage de dosage de la chaux dans le mélange1 et donne des valeurs légèrement supérieures à la stabilisation du ciment. Donc on peut dire que l'ajout de la chaux éteinte fait une amélioration de la résistance à la compression simple pour le mélange1.

Cependant, l'ajout du ciment plus la fumée de Silice amélioré la résistance et donne des valeurs supérieures à la stabilisation du ciment seul.

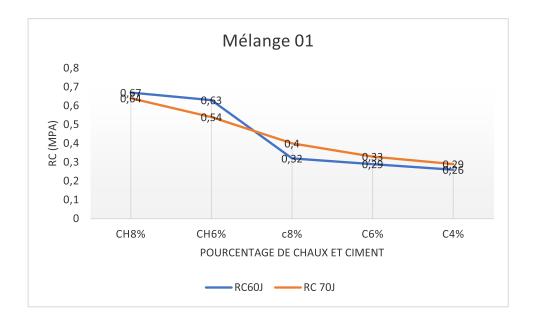


Figure III.20 : Résistance à la compression du mélange1 stabilisé par la chaux et le ciment (60j et 70j)

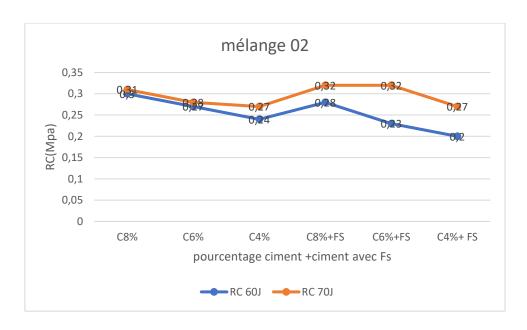


Figure III.21: Résistance à la compression à 60et 70 jours du mélange2

VI. Conclusion:

Ce chapitre a permis de présenter les différents paramètres des bétons de terre fabriqués à base des deux mélanges 1 et 2 stabilisés par l'ajout de la chaux de le ciment et un addition(fumé de Silice) à l'état frais et durci.

Nous pouvons constater ce qui suit :

- La résistance mécanique à la compression augmente généralement avec l'augmentation de dosage de la chaux ou le ciment.
- La teneur en eau optimale de gâchage augmente avec l'augmentation du taux de dosage de la chaux.
- La résistance à la compression simple est améliorée par l'ajoute du ciment et l'addition de fumée de Silice, cela en fonction de l'âge de la conservation.
- Généralement la durée de conservation influée sur les caractéristiques mécaniques, dont la résistance à la compression.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale:

La terre brute est utilisée dans la construction depuis l'Antiquité, comme en témoigne l'habitat traditionnel dans de nombreuses régions de notre planète, en raison de ses intérêts économiques et de sa facilité d'exploitation.

A travers le patrimoine mondial de construction en terre, nous avons dénombré plusieurs techniques d'utilisation de la terre pour la construction : l'adobe, le pisé, le torchis, la terre paille, la bauge, la terre façonnée, la terre extrudée, la terre comprimée, le béton terre coulé...etc.

Cette étude a permis d'utiliser les matériaux locaux d'argile, gravier et sable concassé pour la région d'Adrar, et d'identifier leurs propriétés physico-mécaniques et physico-chimiques ayant pour objet de préparation d'une formulation de béton de terre à base de ces matériaux.

Par ailleurs nous avons étudié la variation de la résistance à la compression de béton1 (mélange1) et béton 2 (mélange2) avec ajout de la chaux et le ciment.

Après analyse des résultats nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

- ✓ L'augmentation de taux de stabilisant engendre une augmentation de la teneur en eau de gâchage.
- ✓ La résistance à la compression de béton de terre augmente avec l'augmentation de dosage de stabilisant (chaux et ciment).
- ✓ La résistance à la compression est augmentée en fonction de l'augmentation de la durée de conservation cela en fonction de type de stabilisant.

Finalement, les deux types de béton de terre préparés sont présentés des résultats encouragés et classer comme préliminaires

Références Bibliographiques

Références Bibliographie

Références Bibliographiques

- [1] Leslie Rainer, Angelyn bass Rivera, David Gandreau, Terre 2008: the 10th international conference on the study and conservation of Earthen architectural heritage, Getty publication, 14 juin 2011.
- [2] Minke, G. (2006). Building with Earth Design and Technology of a SustainableArchitecture. Birkhäuser Publishers for Architecture, Berlin. 198 p.
- [3] CRA terre-ENSAG : Culture constructive et développement durable, la terre. DocumentPDF, p1, source : WWW.inti.be/ecotopie.
- [4] SALMI Safia ,2014," la construction en pisé entre performances énergétiques et perception des usagers cas du village kabyle Ait Itchir ,Mémoire de Magister, universitéMouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [5] : WESTON Richard : formes et matériaux dan l'arcgitecteure, Ed. du. seuil, 2003, p 109.
- [6] SELMI Hacène ,2012, « matériaux locaux et développement durable »mémoire de master , Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme.
- [7] document préparatoire au séminaire-formation « construire en terre crue de Guyane ».Organisé par la DEAL Guyane-Ministère.
- [8] GUETTALA Abdelhamid 2005-2006"bloc de terre comprimée" ouvragepédagogique université Mohamed Khider Biskra.
- [9] HARRAT Mohamed,2007, contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique Etude sur site : unité Maghreb céramique de Touggourt, mémoire de magister université Kasdi Merbah Ouargla .
- [10] HAFSI Khadidja et MEKKI Fatima, 2015"amélioration des caractéristiques mécaniques des matériaux à la région d'Adrar " mémoire de master, Université d'Adrar.
- [11] CRA terre-ENSAG : Culture constructive et développement durable, la terre. Document PDF, p1, source : WWW.inti.be/ecotopie.
- [12] MAHAMAT SALEH IBRAHIM YACOUB, 2010, "Etude comparative entre l'amélioration des brique en terre comprimée stabilisée par le ciment et la chaux éteinte "mémoire de master, institut international en ingénierie de l'eaux et de l'environnement.

Références Bibliographiques

- [13] Gueddouda, M. K. (2004). "Stabilisation des argiles gonflants par ajout du sable dedune, cas : région de Laghouat ". Mémoire de magistère .U.S.T. Oran , 136p.
- [14] Walther .R et Miehlbradt.M « dimensionnement des structure en béton »,traité de Génie Civil de l'école polytechnique fédéral de lausanne,(1990).
- [15] https://www.lemonde.fr/planet/article/2018/07/05/contruction-le-retour-a-la-terre-tente-les-villes_5326293_3244.html
- [16] https://www.construction21.org/france/data/sources/users/14024/terre-crue-senegal.jpg
- [17] Minke, G. (2006). Building with Earth Design and Technology of a Sustainable Architecture. Birkhäuser Publishers for Architecture, Berlin. 198 p.

La liste des normes

La liste des normes

NF P 94-057 : Sols : Reconnaissance et essai analyse granulométrique des sols par la méthode sédimentation.

NF P 94-054 : Sols : Reconnaissance et essai détermination de la masse volumique des particules solides des sols par la méthode du pycnomètre.

NF P 94-051 : Sols : Reconnaissance et essai détermination des limite d'Atterberg (limite de liquidité à la coupelle et limite de plasticité au rouleau).

NF P 94-093 : Sols : Reconnaissance et essai détermination des références de compactage d'un matériau.

NF P 18-560 : Reconnaissance et essai analyse granulométrique des sols par tamisage à sec .

NF P18 598 : Essai d'équivalent de sable.

NF P 18 -555 : Essai de la masse volumique apparent et absolue.

Annexes

ANNEXES

❖ Annexe 1 : Poids volumique des grains solides

❖ Annexe 2 : Résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie

❖ Annexe 3 : Les résultats de. de l'analyse granulométrique par sédimentométrie de mélange (1 et2)

Annexe 1:

Calcules les poids spécifique des grains solides :

$$\gamma_{\rm S} = \frac{(W3 - W1) * \gamma w(20^{\circ})}{W2 - W1 - W4 + W3}$$

W1: Pycnomètre vide.

W2: Pycnomètre + l'eau désilé jusqu'a le repère.

W3: Pycnomètre + échantillon.

W4 : Pycnomètre +échantillon + l'eau

	Prise1	Prise2	Prise3
W1 (g)	243.8	243.9	243.8
W2(g)	1239.3	1237.9	1239.5
W3(g)	346	345	346.5
W4(g)	1301.9	1303.4	1302.8
γs(g/cm3)	2.580	2.83	2.60
γs (kN/m3)	25.80	28.3	26.0
Moyenne γs		26.7	

Les Annexes

Annexe 2

Analyse granulométrique par sédimentométrie :

Temps de	Lecture	Température	Correction	Densite	Diamétre	Tamisats
lecture	nombre de	(T°)	densite	réelle	équivale	P%
(min)	graduation	(1)			nt	
	(Rt)					
30"	39	22.2°	2.8	41.8	0.080	96.4
1'	39	22.2°	2.8	41.8	0.075	96.4
2'	39	22.2°	2.8	41.8	0.053	96.4
5'	39	22.2°	2.8	41.8	0.039	96.4
10'	38	21°	2.7	40.7	0.026	93.9
20'	37.8	21.3°	2.7	40.5	0.018	93.4
40'	37.3	20.4°	2.6	39.9	0.009	92
60	37	18.9°	2.5	39.5	0.006	91.1
4H	35	16.8	2.3	37.8	0.003	87.2
24H	34	16.8	2.3	36.3	0.001	83.7

Annexe 3 :

Résultats de l'analyse granulométrique sédimentometrie du Mélange1

Temps de lecture	Lecture nombre de	Température (T°)	Correction densité	Densité réelle	Diamètre équivale	Tamisats P%
(min)	graduation (Rt)				nt	
30"	14.5	21.9°	2.8	17.3	0.080	34
1'	13.5	21.9°	2.8	16.3	0.075	32
2'	13	21.9°	2.8	15.8	0.053	31
5'	12.8	21.5°	2.8	15.6	0.039	30
10'	12.2	21.5°	2.8	15.0	0.026	29
20'	11.9	21.5°	2.8	14.7	0.018	29
40'	11.5	21.5°	2.8	14.3	0.009	28
60	11.2.	21.5°	2.8	14.0	0.006	27
4H	10.5	21.7	2.8	13.3	0.003	26
24H	10.1	21	2.7	12.8	0.001	25

Résultats de l'analyse granulométrique sédimentometrie du Mélange2

Temps de lecture (min)	Lecture nombre de graduation (Rt)	Température (T°)	Correction densité	Densité réelle	Diamètre équivale nt	Tamisats P%
30"	15.5	21.5°	2.8	18.3	0.080	37
1'	15.2	21.5°	2.8	18	0.075	36
2'	15.1	21.5°	2.8	17.9	0.053	36.01
5'	15	21.5°	2.8	17.8	0.039	35.95
10'	15	21.5°	2.8	17.8	0.026	35.95
20'	14.9	21.5°	2.8	17.7	0.018	35.75
40'	14.2	21.5°	2.8	17	0.009	34.34
60	14.1	21.5°	2.8	16.9	0.006	34.13
4H	13.1	22.4	2.8	15.9	0.003	32.11
24H	12	21	2.7	14.9	0.001	30.09