

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA D'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN GENIE CIVIL

OPTION : GEO-MATERIAUX ET STRUCTURES

Thème

VALORISATION DES MATERIAUX DE LA REGION
D'ADRAR EN TECHNIQUE DES BTC STABILISEES

Soutenu le : 25 Mai 2017

Présenté par :

GHANDJOURI Yamina

GHAITAOUI Hanane

Membres de jury :

Président :

Mr. DJAFARI Driss Univ. d'ADRAR

Encadré par :

Mr. ABOU Mohamed Univ. d'ADRAR

Examineur

Mr ABDELDJALIL M'hammed Univ. d'ADRAR

Année Universitaire 2016/2017

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, Nous tenons à remercier en premier notre **DIEU** tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour pouvoir continuer et réaliser ce travail.

Nous remercions vivement notre encadreur **Mr. ABOU Mohamed** , pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude.

Mr : DJAFARI Driss qui on a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Mr : ABDELJALIL M'hammed d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions pareillement **Mr SEMCHA Abdelaziz** et **BOUAFIA Bafdil** et l'ensemble des membres du laboratoire de génie civil de l'Université d'Adrar.

Merci à tous et à toutes

Yamina et Hanane

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنين) صدق الله العظيم
يا ربي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك ولا تطيب الجنة
إلا برويتك.

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين والحمد لله الذي أنار لنا درب العلم
والمعرفة وأعاننا على أداء هذا الواجب ووفقنا إلى إنجاز هذا العمل.

أما بعد أهدي ثمره هذا العمل:

إلى من لا يمكن للكلمات أن توفي حقها إلى من لا يمكن للأرقام أن تحصي فضائلها إلى شمعتي في
الحياة إلى معنى الحب إلى معنى الحنان والتفاني والأمل إلى بسمة الحياة وسر الوجود إلى من كان
دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي أُمي الحبيبة .

إلى من كلله الله بالهيبه والوقار إلى من أحمل اسمه بكل افتخار أرجو من الله أن يمد عمره وأتمنى له
دوام الصحة والعافية والدي العزيز.

إلى أنهار العطاء وينابيع الصدق الصافي إلى من أرى التفاؤل بأعينهم والشغف بحضورهم والسند
الذي أعطاه الله لي إخواني وأخوتي كل واحد باسمه.

وإلى كل أفراد عائلتي الكريمة وإلى كل أقاربي كل واحد باسمه

كما أتمنى أن يستفيد من هذا العمل جميع الطلبة المقبلين على التخرج يكون مرجع عمل يقتدى به .

Yamina et Hanane

Résumé

Durant ces dernières années le développement de la construction des logements et des infrastructures, en Algérie, a engendré un besoin énorme en matériaux de construction et une pénurie de plus en plus marquée dès les matériaux traditionnels issus des carrières. Par ailleurs, les matériaux économiques à base des produits naturels locaux représentent un intérêt certain en tant que matériaux de substitution.

La wilaya d'Adrar dispose de nombreux gisements pouvant être exploités dans le secteur BTP. Notre travail ayant pour but de la conception d'un matériau de construction à base de ces matériaux locaux qui ont prouvé leur usage depuis des millénaires, à travers des sites patrimoniaux remarquables. Nous avons ciblé dans cette étude, la conception de brique de terre stabilisée (BTCS) avec la chaux éteinte à partir d'argiles prélevées sur des sites sélectionnés tel que la région d'Adrar, la région de Reggane et la région de Timimoun, ainsi que du sable concassé disponibles en abondance dans ces régions.

Les différents essais de caractérisations physiques (Proctor, limites d'Atterberg, tamisage et poids spécifique..etc) ont été réalisés au laboratoire de l'université d'Adrar. Le but de cette étude porte sur la comparaison de la résistance mécanique des éprouvette cylindrique (5X10) non stabilisées(BTC) fabriquer à partir du mélange sol argileux avec le sable concassé et celles stabilisées à la chaux (BTCS). L'objectif est de démontrer que l'ajout de stabilisant peut apporter une amélioration notable dans la résistance d'éprouvettes (futur briques de terre comprimée).Cela d'après l'optimisation du mélange terre - sable concassé.

La caractérisation et l'influence de la teneur en stabilisant ont été étudiées avec plusieurs dosages à la chaux dont un essai à 2%, un autre à 4% et un dernier à 6%. Les périodes d'essai de compression sont fixées à 7, 14 et 28jours. Pendant ce temps les éprouvettes ont été enveloppées d'un film plastique afin de conserver leur teneur en eau et conserver à l'étuve dans une température de l'ordre de 65°C. Les mesures de la résistance à la compression ont été faites par la méthode d'écrasement des éprouvettes cylindriques. La résistance à la compression dépend de la granulométrie et de la teneur en argile de la terre ainsi que la méthode de préparation du mélange terre-sable concassé.

En résumé, la résistance à la compression des BTC augmente en fonction du dosage en stabilisant et du temps mis avant l'écrasement.

Mots clés : Matériaux locaux, BTC, BTCS, Résistance à la compression, BTP.

Sommaire

Dédicace

Remerciements

.Listes des figures..... I

Listes des photos.....II

Listes des tableaux.....III

Abréviations et symboles.....IV

Résumé.....V

Introduction générale.....1

Chapitre I : Etude théorique et bibliographique

I. Introduction	2
II. . Les matériaux creux	2
II.1.Les Blocs de Terre Comprimée	2
II.1.1.Définition	2
II.1.2. Processus de production des BTC	3
II.1.3.Diversités des produits de blocs de terre comprimée	3
II.1.4.Les avantages des blocs de terre comprimée	4
II.1.5. Les inconvénients des blocs de terre comprimée	5
II.2. L'adobe	5
II.2.1.Définition	5
II.2.2.Avantages	6
II.2.3.Inconvénients	6
II.3.Le pisé	7
II.3.1.technique de construction	7
II.3.2.Avantages.	8
II.3.3. Inconvénients	8
III. La construction en bloc de terre comprimée dans le monde	9
IV .La construction en terre en Algérie.	10
V. Cadre géologie de la région d'Adrar	12
VI. Généralités sur les argiles	14
VI. 1. Définition de l'argile	14
VI.2. Minéralogie des argiles	15
VI. 3. Structure des argiles	15
VI. 4. Les principales catégories des minéraux argileux	15

VI. 5. Les types des argiles	15
VI. 6. Caractéristiques d'argiles	17
VII. Stabilisation	18
VII. 1. Définition	18
VII. 2. Objectifs	18
VII. 3. Procédés de stabilisation	18
VII. 4. Moyens de stabilisation	19
VII. 5. Description de la chaux	20
VII. 6. Le processus de carbonatation de la chaux...	20
VIII. Stabilisation à la chaux	21
Conclusion	22

Chapitre II : Matériels et Méthodes Expérimentales

I. Introduction	23
II. Localisation des matériaux utilisés.	23
II.1.La région de Reggane	23
II.2.La région d'Adrar	24
II.3.La région de Timimoun	25
III. Les essais d'identification	25
III.1.Les caractéristique physiques des matériaux utilisées	25
III.1.1.Analyse granulométrique par sédimentométrie (NF P94-057)	25
III.1.2.Les poids spécifique des grains solides(NF P94-054).	28
III.1.3. Les limites d'Atterberg (NF P 94-051)	30
III.2.Les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisé	36
III.2.1. L'essai Proctor normal (NF P 94-093	36
III.3.Les caractéristiques chimiques des matériaux utilisés	38
III.3.1. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)	38
III. 3.2. Teneur en carbonate de calcium CaCO ₃ (NF P94-051)	40
IV. Les caractéristiques physiques et chimiques de sable concassés utilisés	42
IV.1. Les caractéristiques physiques des sables concassés utilisés	42
IV.1.1.. La masse volumique apparente (NF P 18 555)	42
IV.1.2. La masse volumique absolue (NF P 18 555)	43
IV.1.3. Equivalente de sable P 18-598	44
IV.1.4. Analyse granulométrique NF P 94-560	46
IV.2.Les caractéristiques Chimiques des sables concassés utilisés	49
IV.2.1. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)	49
IV.2.2: Essai de l'analyse chimique de l'eau de gâchage	49
Conclusion	50

Chapitre III : Etude expérimentale

I. Introduction	52
II. Méthodologie d'étude	52
III. Préparation des mélanges, Optimisation, compaction et conception des éprouvettes	53
III.1. Préparation des mélanges	53
III.2. Optimisation de la teneur en eau	54
III.3. Méthode de conception des éprouvettes	54
IV. Condition de la cure	60
IV.1. Conservation au laboratoire	60
IV.2. Cure à l'étuve	63
V. Résultats et discussions	63
V.1. Propriétés physiques et mécaniques de l'argile 100%..	63
V.2. L'influence de l'ajout du sable concassé sur les propriétés de l'argile	66
V.2.1. Propriétés physiques	66
V.2.2. Propriété mécanique	67
V.3. L'influence de l'ajout de la chaux sur les propriétés du mélange sable –argile....	68
V.3.1. Propriétés physiques	68
V.3.2. Propriété mécanique	69
V. conclusion	72
IV. Conclusion générale	73
Références Bibliographiques	
La liste des Normes	
ANNEXES	

liste des figures

Chapitre I

Figure I.1: étapes de mise en œuvre de l'adobe.....	6
Figure I.2: technique de fabrication le pisé.....	7
Figure I.3 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATerre en 1986 (Houben, 2006).....	8
Figure I.4 : Distribution des constructions en terre dans le monde.....	9
Figure I.5: distribution des constructions en BTC en 'Algérie.....	10
Figure I.6: Cadre géologie de l'Algérie.....	13
Figure I.7: Cadre géologie de la région Adrar.....	14
Figure I.8 : Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite.....	16
Figure I.9: Vue isométrique de la structure atomique de l'illite	16
Figure I.10 : Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite.....	17
Figure I.11 : Le cycle de la chaux.....	21

Chapitre II

Figure II.1: Courbes granulométrique des sols étudiés.....	27
Figure II.2 : États d'un sol en fonction de sa teneur en eau.....	30
Figure II.3: Classification des sols étudiés sur le diagramme de Casagrande.....	33
Figure II.4 : Courbe Proctor de la terre d'Adrar	37
Figure II.5 : Courbe Proctor de la terre de Timimoun	38
Figure II.6 : Courbe Proctor de la terre de Reggane	38
Figure II.7: Courbes granulométriques des sables concassés utilisés.....	47

Chapitre III

Figure III.1: Méthodologie de l'étude.....	53
Figure III.2: Optimisation de la teneur en eau de l'argile de Reggane.....	55
Figure III.3: Optimisation de la teneur en eau de l'argile de Timimoun.....	55
Figure III.4: Optimisation de la teneur en eau de l'argile d'Adrar.....	56
Figure III.5: Optimisation de la teneur en eau du mélange (SR).....	57
Figure III.6: Optimisation de la teneur en eau du mélange (ST).....	57
Figure III.7: Optimisation de la teneur en eau du mélange (SA).....	58
Figure III.8: Optimisation de la teneur en eau du mélange (SRC).....	58
Figure III.9: Optimisation de la teneur en eau du mélange (STC).....	59
Figure III.10: Optimisation de la teneur en eau du mélange d'Adrar (SAC).....	59
Figure III.11: Variation de la masse en fonction du temps de séchage (Argile 100%).....	62
Figure III.12: Variation de la masse en fonction du temps de séchage (Argile-Sable).....	62
Figure III.13: Variation de la teneur en eau optimale en fonction de l'énergie de compactage	63
Figure III.14: Variation de la densité sèche maximale en fonction de l'énergie de compactage.	64
Figure III.15: Variation de la résistance à la compression en fonction des contraintes de confection.....	65
Figure III.16: Variation de la teneur en eau optimale du mélange en fonction de l'énergie de compactage.....	66
Figure III.17: Variation de la densité sèche maximale en fonction de la contrainte de compactage.....	66
Figure III.18: Variation de la résistance à la compression en fonction de la contrainte de confection.....	67
Figure III.19: Variation de la teneur en eau optimale en fonction du dosage de la chaux.....	68

Figure III. 20: Variation de la densité sèche maximale en fonction du dosage de la chaux.....	68
Figure III.21: Variation de la résistance à la compression simple en fonction de l'âge.....	69
Figure III.22: Variation de la résistance à la compression simple en fonction de l'âge.....	69
Figure III.23: Variation de la résistance à la compression simple en fonction de l'âge... ..	70
Figure III.24: Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux à 7j.....	70
Figure III.25: Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux à 14j.....	71
Figure III.26: Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux à 28j.....	71

liste des photos

Chapitre I

Photo I.1 : Différents produits de blocs de terre comprimée.....	4
Photo I.2: Fabrication de l'adobe.....	6
Photo I.3: Méthode de fabrication du pisé.....	7
Photo I .4 : Maison palmier à Marrakech (Maroc).....	9
Photo I .5 : Domaine de la terre,l'Isle d'Abeau, France.....	9
Photo I .6 : Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde.....	10
Photo I.7: Construction en terre au ksar Tmaskhate (Adrar).....	11
Photo I.8: Construction en terre au Timimoune.....	11

Chapitre II

Photo II.1 : Localisation des gisements d'argile et le sable de Reggane.....	24
Photo II.2 : Localisation des gisements d'argile et la carrière du sable d'Adrar.....	24
Photo II.3 :Zone de prélèvement de l'Argile de Timimoun et le sable concassé de Charouine	25
Photo II.4: Appareillage de l'analyse granulométrique par sédimentation.....	26
Photo II .5: Détermination de poids volumique des grains solides.....	29
Photo II.6: Détermination de la limite de liquidité W_L	31
Photo II.7 : Mode opératoire de la limite de plasticité.....	32
Photo II.8: mode d'opérateur de limite de retrait.....	35
Photo II .9: Mode opératoire de Proctor normal.....	37
Photo II.10:mode d'opérateur de l'essai de bleu méthylène.....	39
Photo II.11:Résultats de l'essai de bleu méthylène.....	39
Photo II.12: Appareille de Calcimètre Dietrich – Fruhling.....	41
Photo II.13 : Mode d'opérateur de la masse volumique apparente.....	43
Photo II.14 : Remplissage de l'échantillon dans l'éprouvette.....	43
Photo II.15 : Essai d'équivalent du sable.....	44
Photo II.16: Analyse granulométrique du sable concassé.....	46
Photo II.17:Résultat de l'essai de test de la tâche.....	49

Chapitre III

Photo III.1:Essai de compactage statique.....	54
Photo III.2 : la conservation des éprouvettes (Argile +Sable).....	61
Photo III.3 : Cure à l'étuve des éprouvettes (Argile –Sable-Chaux).....	63
Photo III.4 : L'écrasement des éprouvettes.....	65

liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Différentes réalisations de constructions en terre en Algérie.....	11
Tableau I.2: Moyens de stabilisation de la terre remaniée	19

Chapitre II

Tableau II.1: Granularité des sols étudiés.....	28
Tableau II.2: Poids spécifiques des différents sols étudiés.....	29
Tableau II.3: Valeurs de Gs pour différents types de sols à 20° C.....	30
Tableau II.4 : Résultats de la limite de liquidité.....	31
Tableau II.5 : Résultats de la limite de plasticité.....	32
Tableau II.6: Résultats de l'indice de plasticité.....	33
Tableau II .7 : Classification des argiles selon Atterberg(1973)....	34
Tableau II.8: L'activité des sols étudiés.....	34
Tableau II .9 : Activité des argiles (Skempton, (1953)).....	35
Tableau II.10 : les résultats de limite de retrait	35
Tableau II.11: Valeurs de l'indice de retrait des sols étudiés.....	36
Tableau II.12: Caractéristiques physiques des sols étudiés.....	36
Tableau II.13: Résultats de bleu méthylène et de SST des sols étudiés.....	40
Tableau II.14: Classification des sols d'après Philipponat.....	40
Tableau II.15 : Teneur en CaCO ₃ de quelques sols.....	41
Tableau II.16 : Valeurs de la teneur en carbonate de calcium.....	42
Tableau II.17: Résultats de la masse volumique apparent et absolue.....	44
Tableau II.18: les résultats de l'équivalente de sable.....	45
Tableau II.19: Nature et qualité du sable.....	45
Tableau II.20: Résultats de l'analyse granulométrique des sables utilisés.....	47

Tableau II.21: Résultats de module finesse des sables utilisés	48
Tableau II.22: Valeurs de bleu méthylène et de SST des sables concassé.....	49
Tableau II.23: Composition chimique de l'eau de gâchage utilisé.....	49
Tableau II.24: Paramètres physico-mécaniques et chimiques des matériaux étudiés.....	50

Abréviations Et Symboles :

BTCS:	Brique de terre comprimée et stabilisée.
BTC :	Brique de terre comprimée
CRATERre:	Centre internationale 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.
G_s :	la densité sèche.
γ_w :	poids volumique de l'eau à 20°C.
ES:	Equivalent de sable.
ES_v:	Equivalent de sable visuel.
ES_p :	Equivalent de sable piston.
W :	Teneur en eau (%).
W_L :	Limite de liquidité (%).
W_P :	Limite de plasticité (%).
W_R :	Limite de retrait .
I_P :	Indice de plasticité.
I_R :	Indice de retrait.
SST :	Surface spécifique totale (m ² /g).

VB :	Valeur du bleu de méthylène .
γ_d :	Le poids sec (g/cm ³).
$\gamma_{d\text{ opt}}$:	Le poids sec optimale (g/cm ³)
W_{opt} :	La teneur en eau optimale (%)
ρ_{app} :	Masse volumique apparente
ρ_{abs} :	Masse volumique absolue.
M_f :	Module de finesse
Rc :	Refus cumulés (%)
Tc :	Tamisât cumulés (%)
D :	Diamètre (mm)
AA:	Argile d' Adrar 100%
AT:	Argile de Timimoun 100%
AR:	Argile de Reggane 100%
MA:	Le mélange (Argile +Sable)de la région Adrar.
MT:	Le mélange (Argile +Sable)de la région Timimoun.
MR:	Le mélange (Argile +Sable)de la région Reggane.
SAC:	Le mélange (Argile +Sable +Chaux) de la région Adrar.
STC:	Le mélange (Argile +Sable+Chaux) de la région Timimoun.
SRC:	Le mélange (Argile +Sable +Chaux) de la région Reggane
SCR:	Le sable concassé de Reggane
SCR:	Le sable concassé de Timimoun.
SCR:	Le sable concassé d'Adrar.
CaCO₃:	Carbonate de calcium .

Introduction générale :

A cause d'une croissance démographique des plus fortes au monde, et la politique d'industrialisation choisie par l'Algérie depuis son indépendance, ainsi que l'influence des nouvelles techniques des matériaux constructifs, accentuées par le besoin urgent en logements, le gouvernement Algérien est actuellement contraint de revenir aux matériaux traditionnels et à la conception des éco-matériaux de construction à base des produits locaux. Les recherches scientifiques dans ce domaine sont fortement encouragées.

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. Les techniques de la brique de terre comprimée stabilisée (BTS) à base d'argile et sable de carrière offrent une adaptation à l'environnement désertique des zones arides et répond aux critères de la durabilité, dans ces régions telle qu'Adrar, Reggane puis Timimoun.

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 en particulier les blocs de terre comprimée 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.
- **Le deuxième chapitre** est consacré aux caractéristiques des matériaux utilisés pour la fabrication de cette brique qui sont les sols de nature argile-limoneux extrait à partir des gisements sélectionner ainsi que le sable de concassage de trois carrières, ainsi qu'aux essais d'identification de ces matériaux : Caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques.
- **Le troisième chapitre** : Ce chapitre présente les améliorations et la stabilisation de ces sols argileux par ajout de sable concassé puis l'ajout de la chaux comme stabilisant chimique par la suite nous ferons présenté la détermination des effets de la contraintes de confection (2MPa ,4MPa et 8MPa) sur les propriétés mécaniques (La densités et résistance à la compression)des mélanges(argile-sable et chaux). Par ailleurs on a étudié la variation de la densité sèche en fonction au taux d'ajout de la chaux (2%,4% et 6%), au préalable nous avons présenté la méthode d'optimisation et de la conception des éprouvettes des mélanges.

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

Chapitre I

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 connues 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 on a donné un bref historique sur l'utilisation des blocs de terre comprimée à travers le monde et en l'Algérie tel que le Sahara Algérienne comme notre région (Wilaya d'Adrar).

Pour finir nous avons figurés le contexte géologique général de la wilaya d'Adrar, le matériau de construction le plus ancien c'est l'argile. Ainsi que les techniques de stabilisation.

II. Les matériaux crus:**II.1. Les Blocs de Terre Comprimée:**

Les Blocs de Terre Comprimée (BTC) permettent une utilisation moderne de la terre crue. Ils sont utilisés pour créer les cloisons de distribution ou doubler les murs extérieurs, dans le but de donner de l'inertie thermique à l'habitat[1].

Différentes des adobes, des briques de terre moulée, les BTC sont très fortement comprimées à l'aide d'une presse. Faites à partir d'une terre légèrement humide, les BTC, une fois pressées, sont stockées en cure humide (sous bâche) pendant 3 semaines à la suite desquelles elles pourront être mises en œuvre.

Techniquement, la terre est tamisée pour être rendue homogène et surtout enlever les cailloux de diamètre $> 6\text{mm}$. En fonction de sa nature, elle peut ensuite être amendée de sable ou d'argile, avec ajout de stabilisant éventuellement. Légèrement humidifiée, elle va être ensuite mise en brique.[1]

II.1.1. Définition:

Le bloc de terre comprimée est une évolution moderne du bloc de terre moulée, 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 piliers de bois que l'on réalisait les premiers blocs de terre comprimée.

Dans ce cas on parle alors de « bloc de terre comprimée stabilisée ». Stabiliser la terre, c'est modifier les propriétés d'un système terre eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec des applications particulières [2].

II.1.2. Processus de production des BTC:

Les étapes essentielles de la production du BTC sont les suivantes:

- Le choix de la terre
- Le tamisage
- Le malaxage
- La production
- Le séchage

II.1.3. Diversités des produits de blocs de terre comprimée:

Aujourd'hui, le marché accueille une large gamme de produits de terre comprimée (Houben, 2006)

a. Blocs pleins:

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples, etc.). Leur usage est très varié.

b. Blocs creux:

On observe normalement de 15 % de creux, 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements créés au sein des blocs améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).

c. Blocs alvéolaires:

Ils présentent l'avantage d'être légers mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus forte que la normale.

d. Blocs à emboitements:

Ils peuvent éventuellement permettre de se passer de mortier mais exigent des moules assez sophistiqués et en général des pressions de compression plus ou moins élevées.

e. Blocs parasismiques:

Leur forme améliore leur comportement parasismique ou permet une meilleure intégration de systèmes structuraux parasismiques : chaînage par exemple.

f. Blocs spéciaux

Les blocs sont fabriqués exceptionnellement pour une application spécifique.



Photo I.1 : Différents produits de blocs de terre comprimée

II.1.4. Les avantages des blocs de terre comprimée (H.Houben, Al, 1994) :

- économiques :
 - Réduction de la fuite des devises par une diminution des matériaux importés (ciment, acier et bois)
 - une production manuelle à haute intensité de main d'œuvre qui favorise l'économie locale.
- écologiques :
 - réduction d'émission de CO₂, dont 5% de l'émission mondiale provient de la production de ciment,
 - réduction importante d'énergie consommée pour le transport du matériau de construction.
- disponibilité :
 - la terre est disponible en quantités quasiment illimitées dans la plupart des régions.
 - production possible de l'échelle artisanale à l'échelle industrielle, possibilité de produire directement sur le chantier.
- confort :
 - atténuation de l'amplitude et de la rapidité des variations climatiques à l'intérieur des bâtiments, grâce à une grande inertie thermique.
 - autorégulation du taux d'humidité à l'intérieur des réalisations grâce aux matériaux.
- Qualité architecturale :
 - produits aux dimensions standardisées, modulaires, réguliers et précis.
 - permet la réalisation des architectures aux murs apparents.

II.1.5. Les inconvénients des blocs de terre comprimée [3]:

- Fabrication de la brique longue et fatigante.
- Fragilité : au moindre choc la brique se brise ou s'effrite.
- se détériore sous l'effet du gel.

II.2. L'adobe:**II.2.1. Définition:**

L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sol, d'eau et de chaume. Le sol utilisé doit contenir une proportion déterminée d'argile et de sable. Chaque élément du mélange joue son rôle. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et le chaume de blé, quant à lui, donne un certain grade de flexibilité à l'ensemble.

L'adobe présente des désavantages certains lorsqu'on le compare aux matériaux industriels d'usage commun. Il ne peut être standardisé, puisque sa composition varie en fonction des minéraux présents dans le sol, et le mélange doit être ajusté pour équilibrer ses différents composants (Minke G, 2006). L'adobe se contracte lorsqu'il sèche, en raison de l'évaporation de l'eau utilisée dans la préparation du mélange, et, de plus, il n'est pas résistant à l'eau. Il doit donc être protégé par des toits à longue portée et par un revêtement approprié (Minke G, 2006). Par contre, l'adobe possède plusieurs avantages par rapport aux matériaux industriels. Il a la capacité de régulariser l'humidité de l'air, d'emmagasiner la chaleur, de réduire la consommation d'énergie, de ne produire virtuellement aucune pollution, d'être réutilisable à 100 %, de préserver le bois et les autres matériaux organiques.

En plus d'absorber les polluants atmosphériques présents à l'intérieur des maisons (Minke G, 2006) [17].

C'est un matériau de construction peu coûteux, toujours disponible, local et pouvant être utilisé directement par les petites communautés. Cette technologie n'entraîne pas la production de gaz à effet de serre et convient parfaitement pour diminuer les émissions à la fois du secteur des transports et de la construction. Les spécialistes hautement qualifiés, comme les architectes et les ingénieurs, ne participent généralement pas à ce genre de constructions. Apparemment, la terre serait donc le matériau idéal.



Photo I.2: Fabrication de l'adobe .

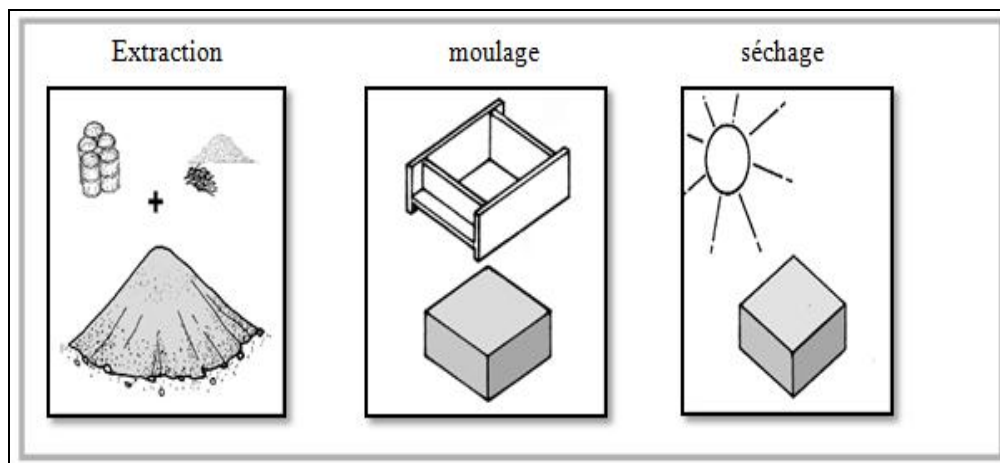


Figure I.1: Etapes de mise en œuvre de l'adobe .

II.2.2. Avantages [2]:

- Matière première facilement et localement disponible.
- Equipement de production peu coûteux.

II.2.3. Inconvénients [2]:

- Consomme beaucoup d'eau.
- Temps de séchage en fonction du climat.
- Faible résistance à l'eau

II.3. Le pisé :

II.3.1. Technique de construction :

Selon François Cointeraux : « Le pisé est un procédé d'après lequel on Construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois et sans la mélanger de paille, ni de bourre. Il consiste à battre, lit par lit, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée à toutes les hauteurs données pour les habitations. » [4] .

Le pisé consiste à damer la terre dans un coffrage en bois formé de "banches». Le coffrage formera une boîte parallélépipédique à l'intérieur de laquelle on va monter le mur. Le remplissage de ce coffrage se fait par couches successives de terre. (Voir photo n°3).Le compactage se fait au moyen d'une dame en bois ou bien d'un fouloir pneumatique.

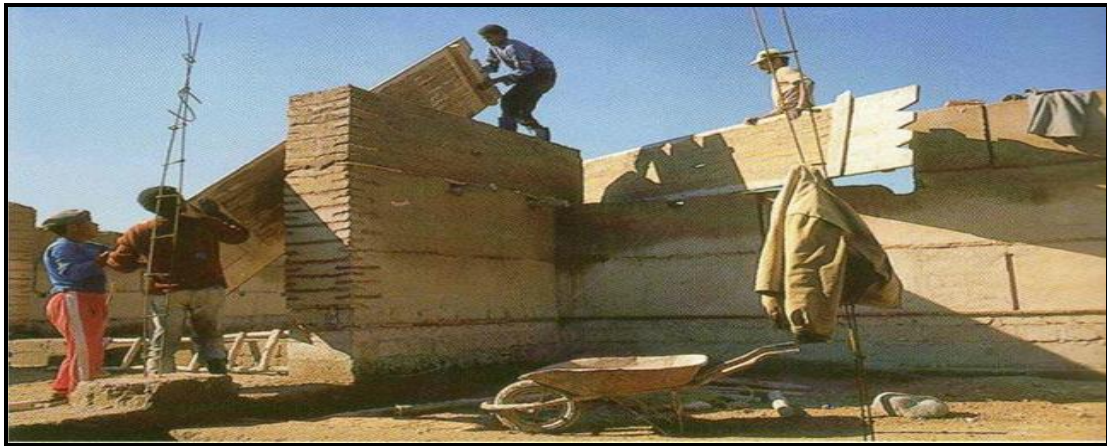


Photo I.3: Méthode de fabrication du pisé[5].

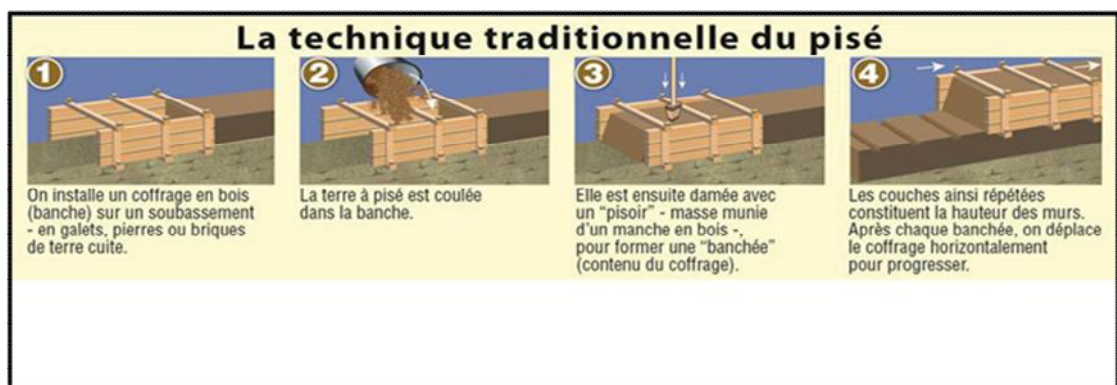


Figure I.2: Technique de fabrication le pisé[5].

La terre à pisé est une terre sableuse, à peine argileuse. Parfois on y ajoutait des cailloux et graviers ce qui augmentait sa granulométrie et assurait une meilleure cohésion.

Généralement les murs reposent sur un soubassement en pierre pouvant aller jusqu'à un mètre de hauteur, afin de les protéger de l'humidité et de l'érosion.

II.3.2. 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 [6].

II.3.3. Inconvénients :

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

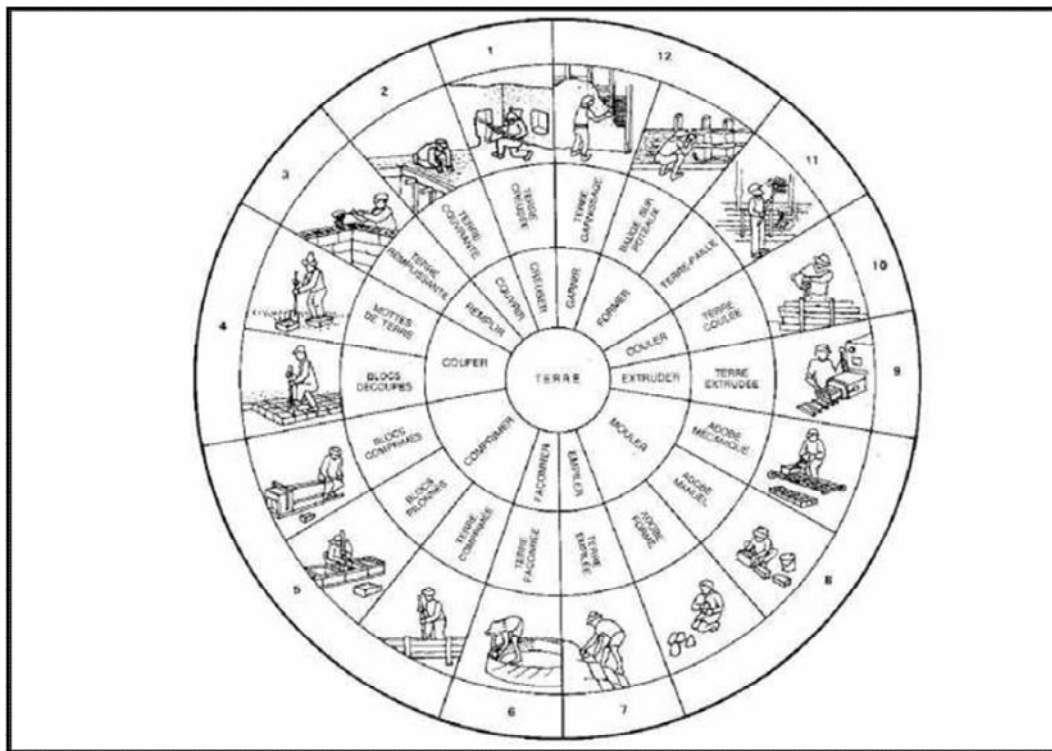


Figure I.3 : Schéma des différentes techniques de construction en terre établi par le groupe CRATERRE en 1986 (Houben, 2006) [2].

III. La construction en bloc de terre comprimée dans le monde:

Plusieurs constructions ont été réalisées en blocs de terre comprimée à travers les quatre coins du monde, profitant des avantages de cette technique moderne, que ce soit sur le plan économique, écologique, esthétique, thermique et environnemental.



Figure I.4:Distribution des constructions en terre dans le monde. [7]

On peut citer ici quelques exemples fascinants : Maison palmier à Marrakech, Maroc (photo I.4), Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau à Lyon, France (photo I.5) et Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde (photo I.6).



Photo I.4 : Maison palmier à Marrakech (Maroc) [8]



Photo I.5 : Domaine de la terre, l'Isle d'Abeau, France[8]



Photo I.7 : Atelier électronique, Ecole, Auroville, Inde[8]

IV. La construction en bloc de terre comprimée en Algérie:

La terre comme matériau de construction a été largement utilisé en Algérie par l'habitat traditionnel. Divers régions du pays en témoignent encore de l'utilisation séculaire de ce matériau sous diverses techniques de construction. La figure I.5 est présentée les zone qui sont utilisée la construction terre en Algérie

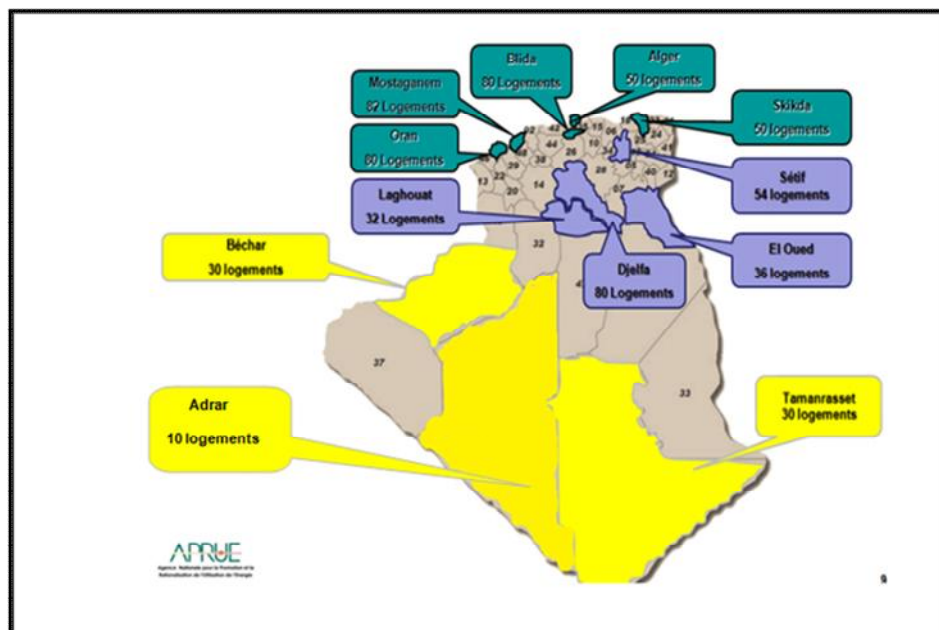


Figure I.5: Distribution des constructions en BTC en 'Algérie

Tableau I.1 : Différentes réalisations de constructions en terre en Algérie (CNERIB 2003)

1969-1970	136 logements en pisé à Bouhlilet près de Batna
1971-1973	Village de Abadla, en terre rempissante
1972	Habitations à Zéralda en pisé stabilisé (banché coulé)
1973-1975	Village de Mostafa Ben Brahim en pisé
1976	100 logements à Felliache près 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 ksours du Sud, que ce soit ceux de la Saoura, du Touat, de Gourara ou de l'ahaggar recèlent un patrimoine très riche de construction en terre (Voir photos n°7 et 8).



Photo I.7: Construction en terre au
Ksar Tmaskhate (Adrar)



Photo I.8: Construction en terre
au Timimoun

La brique en toube séchée au soleil était le matériau le plus répandu dans ses régions, car il était bien adapté à la construction en climat aride.

V. Cadre géologie de la région d'Adrar:

D'une façon générale, les dépôts du primaire et du secondaire au Sahara sont d'origine marine. Les dépôts du tertiaire et du quaternaire sont continentaux. Les deux périodes de sédimentation sont séparées par une phase orogénique majeure au cours de laquelle se sont formés les Atlas et les hauts plateaux : phase du plissement hercynien [9].

Dans la dépression de TOUAT, région se trouvant au sud-Ouest d'Alger à environ 1400km, affleure essentiellement l'accumulation de différents dépôts (des grès quartzites, des grès à débris de reptiles et des argiles gréseuses).

Les calcaires du crétacé terminal aussi bien que les formations gypso lagunaire ne se font observer qu'en certaines parties de la région en formant la continuité stratigraphique appartenant aussi au continental intercalaire.

L'accumulation de sable éolien (sable de dune) est d'une part originale de la région se faisant sentir de long de la route nationale N°6.

Le crétacé inférieur tel que défini par les études stratigraphiques s'érige sous forme de petits plateaux étagés dont leurs bordures gisent sous un pendage assez net, mettant à jour des grès hétérogènes peu argileux, couverts par endroits par des alluvions limoneux rougeâtre du quaternaire [9].

L'aspect morphologique de la région est tout simplement l'image d'une large étendue pénéplainisée couverte totalement en surface par les terrains du continental intercalaire parfois eux-mêmes surmontés par les dépôts du Reg quaternaire où les affleurements des argiles, grès organiques et sable villa-franchien s'étalent en dépôts minces et réguliers [9].

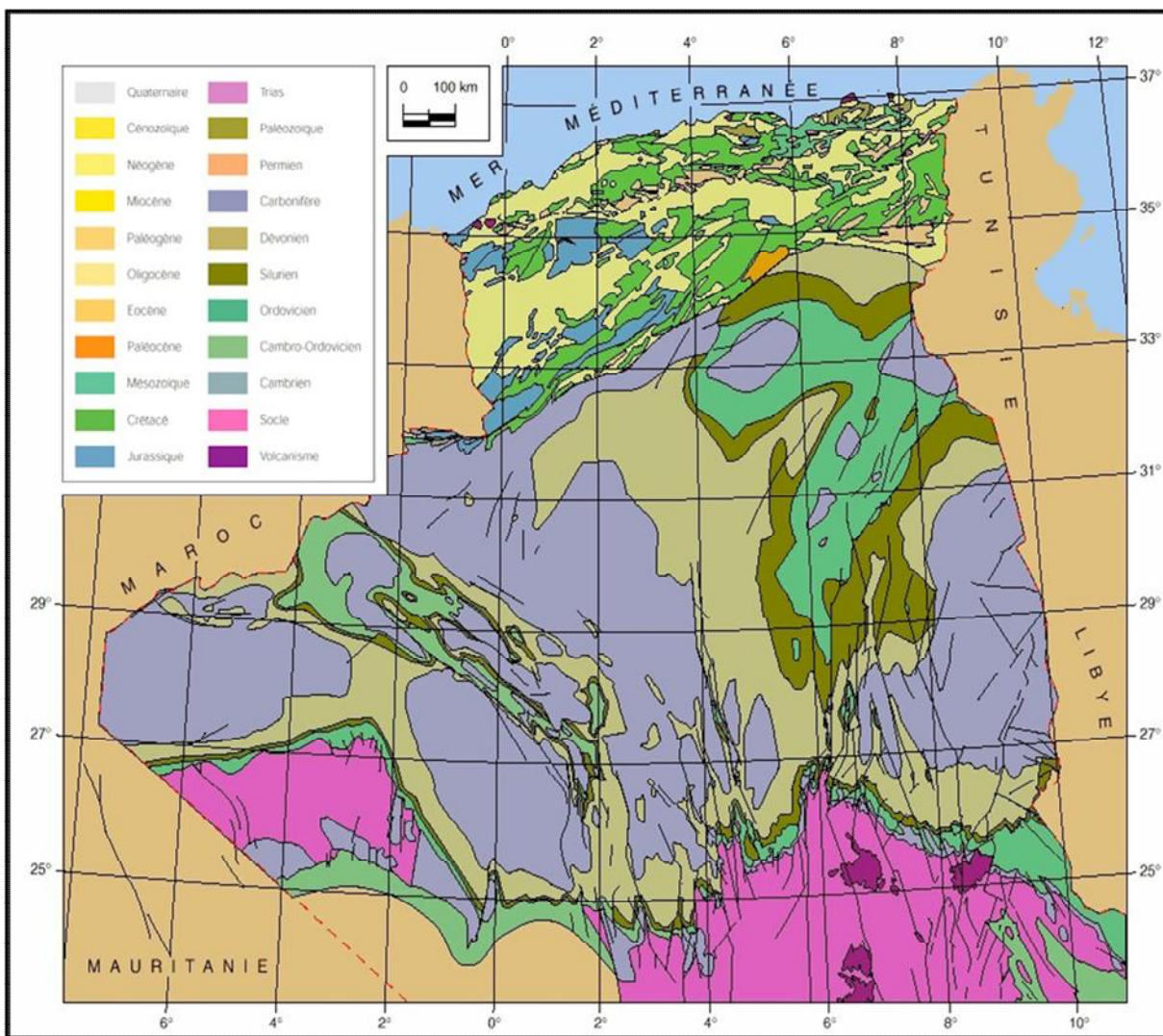


Figure I.6: Cadre géologique de l'Algérie.

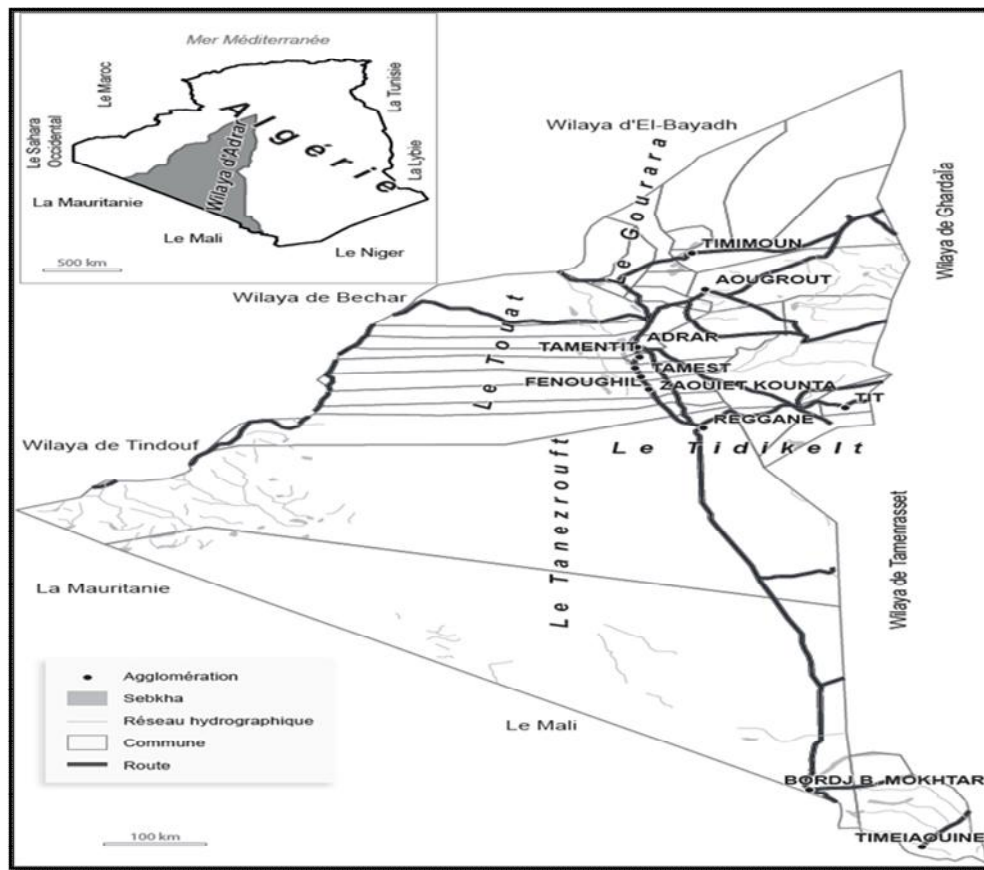


Figure I.7: Cadre géologique de la région Adrar.

VI. Généralités sur les argiles :

Le terme argile vient du mot grec « argilos », dont la racine argos signifie blanc, ce sont des aluminosilicates dont la structure est formée d'un empilement de feuillets. Il n'existe pas de définition unique du terme « argile ». Ce mot englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie. Cette définition dépend de la discipline concernée: Le géologue ou le pédologue considèrent comme « argile » tout minéral de faible granulométrie, la limite étant fixée à 2 ou 4 microns selon les cas. Les ingénieurs s'attachent plutôt aux propriétés de plasticité des matériaux argileux quelque soit leur taille. Les céramistes regroupent les matériaux selon leurs comportements au chauffage [10].

VI.1. Définition de l'argile :

L'argile est une roche composée principalement de silicate d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée (construit par un empilement de couches tétraédriques) qui explique leur plasticité, ou bien une structure fibreuse qui explique leurs qualités d'absorption.

VI.2. Minéralogie des argiles:

Les minéraux argileux sont de très petites particules très actives sur le plan électrochimique. Lorsque le pourcentage d'argile augmente, l'influence de la portion argileuse sur le comportement global du sol augmente proportionnellement [10].

VI.3. Structure des argiles:

Les particules d'argile sont formées d'un empilement de feuillets qui sont constitués par l'association de deux unités structurales de base, ces feuillets sont formés par la juxtaposition des couches structurales tétraédriques (silice) et octaédriques (aluminium). Les couches structurales sont à leur tour formées d'unités structurales de base par empilement d'ions ou d'hydroxydes en disposition hexagonale ou compacte [11].

VI.4. Les principales catégories des minéraux argileux:

Il est possible de distinguer les types de minéraux argileux par :

- Le nombre de couches d'octaèdres et de tétraèdres dans le feuillet élémentaire (une ou deux).
- L'équidistance entre deux feuillets dans les conditions naturelles.
- La variabilité de l'équidistance entre deux feuillets sous l'action de traitements variés [11].

VI.5. Les types des argiles:

a) La famille de la kaolinite (T-O ou 1:1) A une couche d'octaèdres et une couche de tétraèdres, l'épaisseur du feuillet élémentaire est de 7 Å. Ces feuillets élémentaires adhèrent assez fortement entre eux par leurs faces basales, des liaisons hydrogènes existant entre les oxyhydroxydes de la base d'un feuillet et les oxygènes du haut du feuillet en dessous. Il constitue ainsi une particule primaire (Mering et Oberlin, 1971), qui comprend de 70 à 100 feuillets accolés. L'halloysite résulte de l'adjonction des couches d'eau entre les feuillets, l'équidistance entre les feuillets hydratés est donc variable dans ce cas. La formule générale d'un feuillet de Kaolinite est donnée par la formule suivante [11].

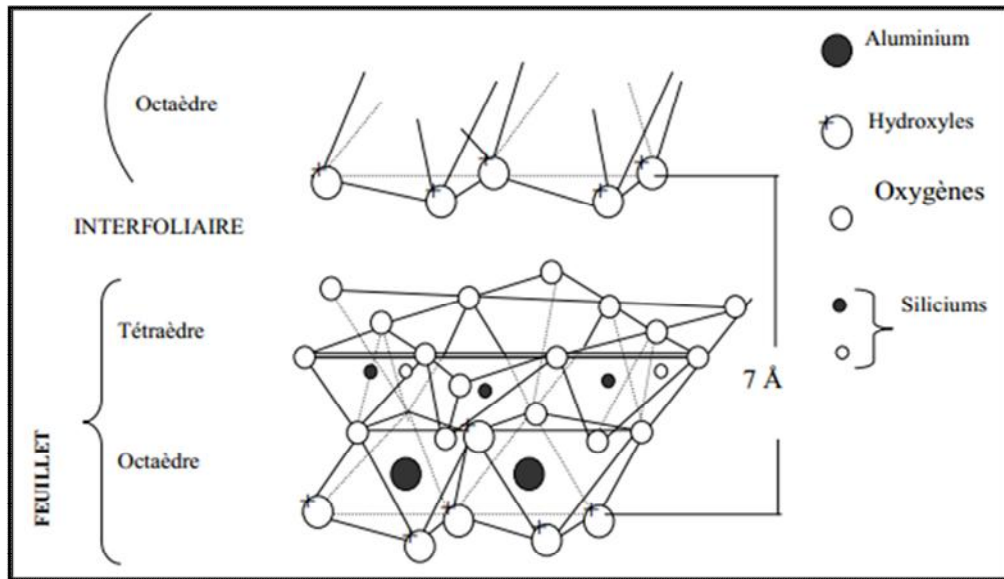


Figure I.8 : Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite[11].

b) **Famille de l'illite (T-O-T ou 2:1) (argiles micacées, ou hydro micas)** A une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques, les feuillets d'équidistance 10 Å sont assez fortement liés les uns aux autres par des ions potassium (K^+), l'équidistance est donc constante. Les propriétés sont intermédiaires entre celles de la kaolinite et celles de la montmorillonite.

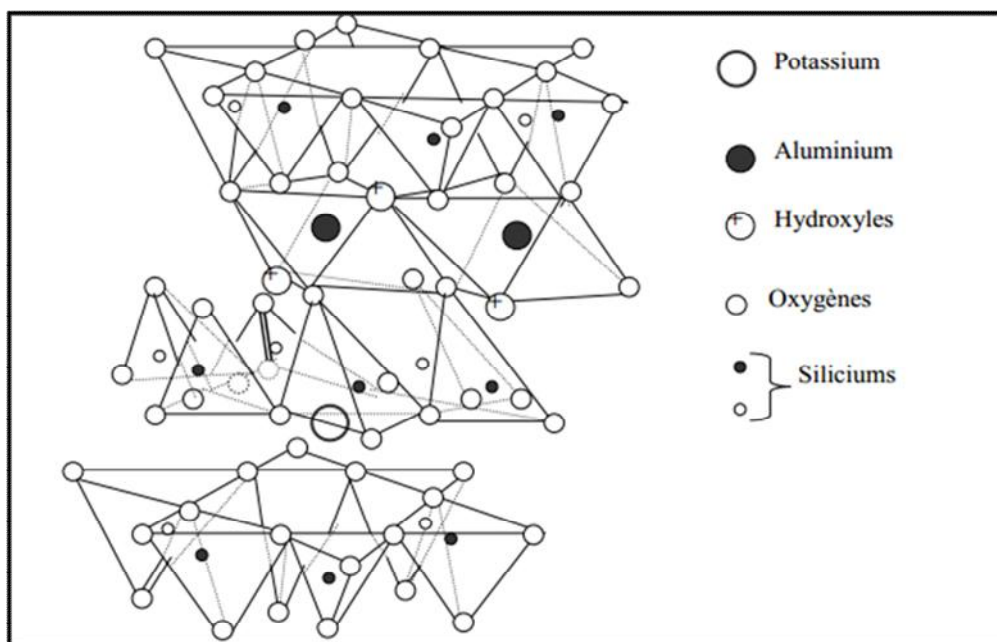


Figure I.9: Vue isométrique de la structure atomique de l'illite[12].

c) **Famille de la montmorillonite (T-O-T ou 2:1)** A une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques, les feuillets, épais de 10 Å, sont très faiblement liés les uns aux autres ; aussi des couches d'eau peuvent se fixer entre les feuillets, l'épaisseur de ces couches pouvant atteindre 9 Å. Ce matériau est donc gonflant. La montmorillonite peut exister sous la forme de cristaux isolés épais de 10 Å. Pour la vermiculite, l'absorption d'eau est limitée à 2 couches de molécules d'eau. La formule générale de la montmorillonite est la suivante [13].

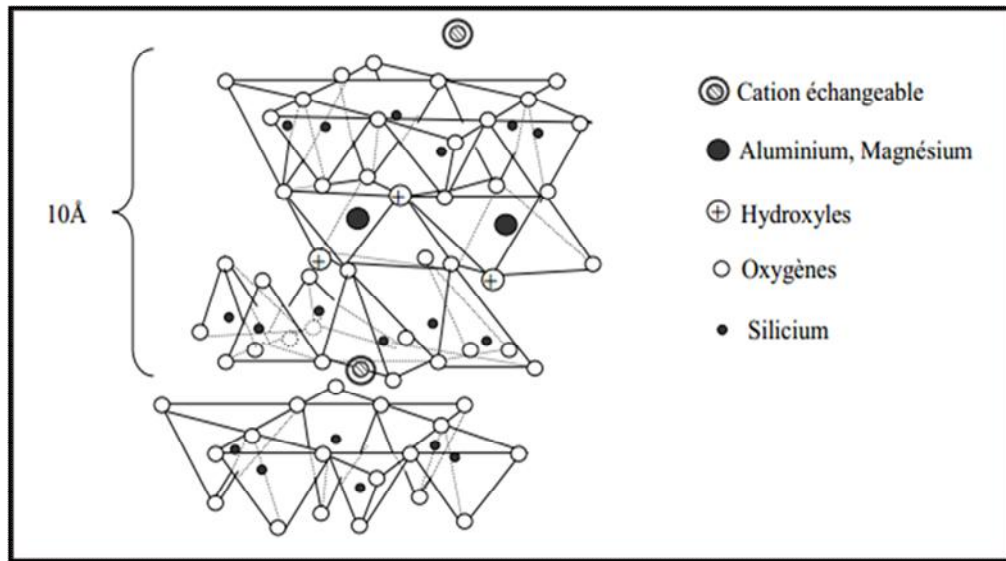


Figure I.10 : Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite[13].

d) **Famille des chlorites (T-O-T-O ou 2:1:1)** A une couche d'octaèdre encadrée par deux couches tétraédriques et un inter feuillet constitué par une couche d'octaèdre ; les feuilles épaisses de 14 Å sont assez fortement liées entre elles pour les chlorites vraies. Les pseudo chlorites peuvent présenter des phénomènes de gonflement notables [10].

VI.6. Caractéristiques d'argiles:

En général les grains individuels des minéraux argileux sont de taille microscopique et semblable à des plaquettes. Cette structure en feuillets dont la surface est bien plus importante que l'épaisseur, leur permet d'absorber de grandes quantités d'eau par adhésion, ce qui leur donne leur plasticité et fait gonfler certaines variétés. Le degré de plasticité des argiles est varié.

Pour avoir une meilleure résistance le matériau argileux est stabilisé avec de la chaux comme dans le cas de notre projet.

VII. Stabilisation:**VII.1. Définition:**

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a défini la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec une application particulière (United Nations, 1992). Mais la stabilisation est un problème complexe car de très nombreux paramètres interviennent. Il faut en effet connaître : les propriétés de la terre, les améliorations envisagées, l'économie du projet, les techniques de mise en œuvre de la terre choisie pour le projet et la maintenance du projet réalisé (Houben, 2006).

VII.2. Objectifs:

Les principaux objectifs de stabilisation des sols sont (Winterkorn, 1975; Nations Unies, 1992; Symons, 1999):

- l'obtention de meilleures caractéristiques mécaniques de la terre (augmenter les résistances à la compression, à la traction et au cisaillement),
- la réduction de la porosité et les variations de volume (réduire le retrait et le gonflement à l'eau),
- l'amélioration de la résistance à l'érosion du vent et de la pluie (réduire l'abrasion de surface et la perméabilité à l'eau).

VII.3. Procédés de stabilisation:

On dénombre trois procédés de stabilisation (Winterkorn, 1975; Nations Unies, 1992, Web, 1994) :

❖ Stabilisation mécanique :

La stabilisation mécanique est le terme général utilisé pour la stabilisation du sol par compactage. Ce procédé modifie les propriétés de la terre (la densité, la compressibilité, la perméabilité et la porosité), en intervenant sur la structure.

❖ Stabilisation physique :

Les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture : mélange contrôlé de fractions de grains différentes (argile et sable).

❖ Stabilisation chimique :

La stabilisation de la terre est assurée par l'ajout d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés, soit du fait d'une réaction physicochimique entre les particules de la terre et le produit ajouté soit en créant une matrice qui lie ou enrobe les particules. On peut citer, en particulier du ciment, de la chaux, du bitume, et de sous-produits

industriels. Le choix et la quantité de matériau ou de produit chimique à ajouter dépendent de la nature du sol et du degré d'amélioration de la qualité du sol souhaité (Akpodje, 1985). Le traitement du matériau terre par des produits chimiques se fait pratiquement de deux manières :

- Un traitement dans la masse (introduction dans la masse du sol d'une quantité minimale de stabilisant).
- Un traitement de surface (enduits, badigeons, hydrofuges), pour protéger la surface par imprégnation sur la partie exposée (Ghoumari, 1989).

VII.4. Moyens de stabilisation:

Dans la littérature, on peut trouver divers classifications, selon : la nature, la forme, etc. Selon Rigassi (Rigassi, 1995), il y a six modes de stabilisations :

- Densifier.
- Armer.
- Enchaîner.
- Liaisonner.
- Imperméabiliser.
- Hydrofuger.

Chaque stabilisant n'agit pas obligatoirement selon un procédé exclusif, mais il peut aussicumuler plusieurs procédés : physique et chimique (Houben, 2006) (Tableau I.2).

Moyens de stabilisation de terres remaniées.

Tableau I.2:Moyens de stabilisation de la terre remaniée (CRATerre, 1995) [14].

Stabilisant	Nature		Procédé	Moyens	Principe
Sans apport de stabilisant			Mécanique	Densifier	Créer un milieu dense qui bloque les pores et les canaux capillaires.
Avec apport de stabilisant	Stabilisants inertes	Minéraux	physique	Armer	Créer une armature omnidirectionnelle qui réduit le mouvement
		Fibres			
	Stabilisants physico-chimiques	Liants	Chimique	Enchaîner	Créer un squelette inerte qui s'oppose à tout mouvement
		Hydrophobants		Liaisonner	Former des liaisons chimiques stables entre les cristaux d'argile
Hydrophobants	Hydrophobants			impermeabiliser	Entourer les grains de terre d'un film imperméable et boucher les pores et canaux
		Hydrofuger		Eliminer au maximum l'absorption et l'adsorption d'eau	

Source : traité de construction en terre (CRATerre 1995)

VII.5. Description de la chaux:

Les roches calcaires (CaCO_3) ou dolomitiques (association de CaCO_3 et MgCO_3) sont à la base de la production des chaux. Selon leurs propriétés de prise nous avons les chaux aériennes et chaux hydrauliques.

- **Chaux aériennes:**

Obtenues par cuisson de calcaires purs, elles constituent les principales chaux utilisables pour la stabilisation de sols. La chaux est dite aérienne à cause de sa propriété de faire sa prise à l'air, par réaction avec le gaz carbonique. La chaux sera aérienne autant plus que le calcaire servant à la fabrication est pure. On parle également de chaux grasse du faite des propriétés de plasticité et d'onctuosité des mortiers. On rencontre la chaux aérienne sous deux formes :vive ou éteintes.

- **La chaux vive (CaO):**

C'est le premier produit de la cuisson de la pierre à chaux (calcaire).C'est un matériau très avides d'eau. La chaux vive en contact de l'eau produit des explosions et sa température peut dépasser 150° (réaction très exothermique).

- **La chaux éteinte(CaOH_2):**

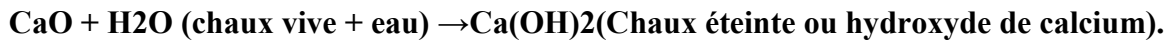
Elle est obtenue par hydratation de la chaux vive. Cette opération qui permet le passage de la chaux vive à la chaux éteinte s'appelle Extinction. Elle s'accompagne d'une augmentation de volume du produit (foisonnement).

VII.6.Le processus de carbonatation de la chaux:

La chaux est un liant obtenue par la calcination d'un calcaire. Suivant le type de calcaire, différents types de chaux peuvent être obtenue. Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons aux chaux aériennes et hydrauliques. La calcination du calcaire provoque un dégagement de dioxyde de carbone et donne de la chaux vive. La chaux vive est peu utilisée en raison de sa forte réactivité à l'eau et sa capacité à brûler les corps organiques.



L'extinction est la seconde phase du cycle de la chaux. Elle consiste à ajouter une proportion d'eau afin d'éteindre la chaux vive. La matière obtenue est appelée chaux éteinte. En fonction de l'ajout d'eau, il est possible d'obtenir deux formes de chaux éteinte. La première étant une poudre appelée chaux aérienne dans le cas d'ajout contrôlé, la seconde sous forme pâteuse lorsque l'eau est en excédent.



Cette chaux éteinte est utilisée principalement pour des mortiers. La prise de cette chaux est lente en raison de sa prise par carbonatation. Le cycle de la chaux est représenté dans la figure suivante :

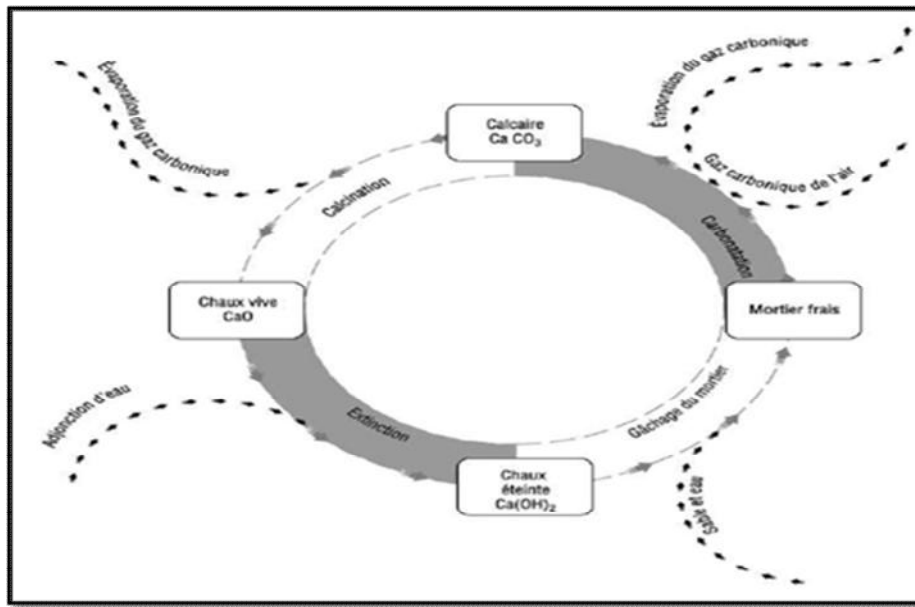


Figure I.11:Le cycle de la chaux.

VIII. Stabilisation à la chaux:

Des essais avec la terre retenue, comme dans le cas du ciment, sont indispensables, d'autant plus que le résultat sera fonction du pourcentage d'argile contenue dans la terre. Il faut pour stabiliser efficacement la terre, disposer d'une chaux de bonne qualité et broyée finement afin de pouvoir réaliser le mélange terre-chaux le plus intime possible. Dans le cas où une stabilisation à la chaux ou au ciment est possible, un pourcentage plus élevé de chaux que de ciment est généralement recommandé. A titre purement indicatif, et pour une terre argileuse, une bonne stabilisation à la chaux peut être obtenue, selon la terre, pour des pourcentages de 2% à 10% de chaux[14].

Conclusion:

Nous pouvons dire que la terre crue est utilisée depuis préhistorique comme un matériau de construction.

Cependant on peut utiliser plusieurs techniques de construction en terre, il est présenté trois techniques la brique de terre comprimée, l'adobe et le pisé.

Par ailleurs selon la géologie de la wilaya d'Adrar, la région dispose de nombreuses substances utiles comme les roches calcaires et les gisements de terre argileuse. En effet comme notre étude est focalisée sur l'argile comme un matériau de base pour la conception des briques de terre comprimée (BTCS), nous avons donné une détaille sur les différents types d'Argiles et leurs structures. Ainsi que les techniques de stabilisation comme l'ajout de la chaux et le processus de cycle de vie de la chaux.

Chapitre II

I. Introduction :

Les sols diffèrent d'une région à une autre, pour cela, une identification de leurs caractéristiques s'impose. Dans notre étude nous devons identifier deux matériaux locaux, l'argile et le sable concassé.

Le présent chapitre regroupe les différents résultats d'essais de reconnaissance géotechnique des matériaux extraits à partir des trois zones ainsi que leurs interprétations.

Nous avons procédé aux essais d'identification suivants :

Les sols :

- ✓ L'analyse granulométrique par sédimentation (NF-P94-057)
- ✓ Le Poids spécifique des grains solide (NF-P 94 054)
- ✓ La limite d'Atterberg (NF-P 94 051)
- ✓ L'essai de Proctor normal (NF-P 94 093)
- ✓ L'essai de bleu méthylène (NF-P94 068)

Les sables concassés :

- ✓ La masse volumique apparente (NF-P 18 555)
- ✓ La masse volumique absolue (NF-P 18 555)
- ✓ L'équivalente de sable (NF-P 18 598)
- ✓ L'analyse granulométrique par tamisage (NF-P 18-560)
- ✓ Le module finesse (NF-P 18 304)

II. Localisation des matériaux utilisés:

Dans notre étude, nous avons ciblé deux matériaux se trouvant localement restant en abondance dans notre région, le premier c'est la terre de nature argileuse et le deuxième c'est le sable concassé. Ces deux matériaux locaux ont prouvé leur usage depuis millénaires.

Par ailleurs, Notre travail est focalisé sur trois régions, la commune d'Adrar, la commune de Timimoun et la commune de Reggane.

II.1. La région de Reggane :**➤ Le sol de Reggane:**

La carrière est située au Nord - Ouest de la commune de Reggane sur le côté droit en allant vers Reggane (Photo II-1).

➤ Le sable concassé (Reggane):

Le gisement de sable utilisé est situé à 30km à vol d'oiseau à l'Est de la localité de Reggane, on y accède en empruntant la nationale N°52 (30km Reggane-Aoulef) et une piste carrossable de 8km vers au Sud (Photo II-1).

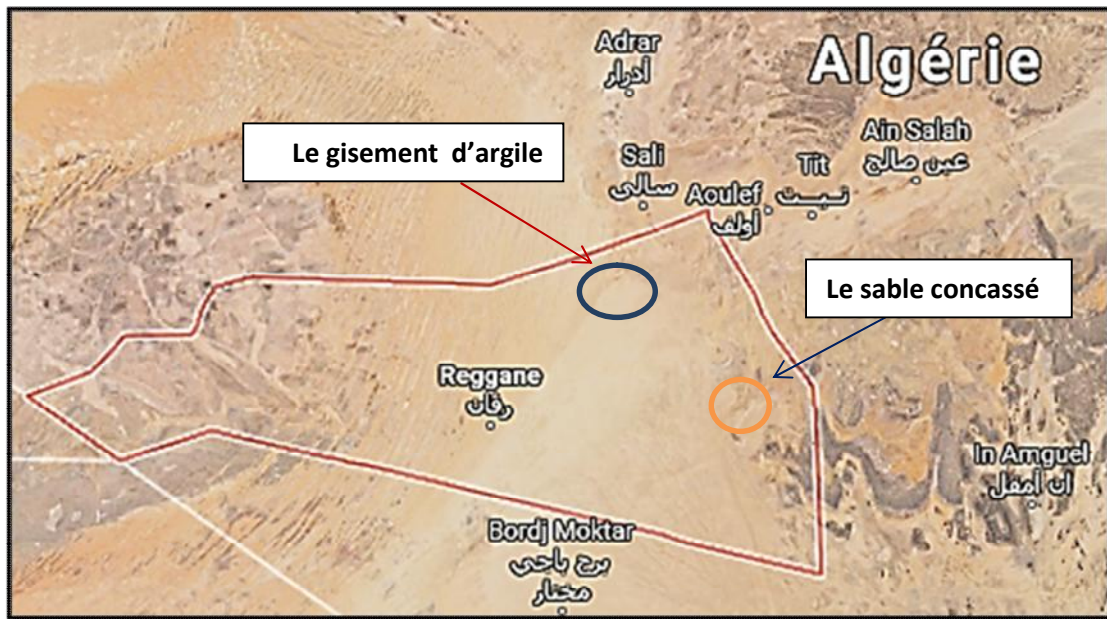


Photo II.1 : Localisation des gisements d'argile et le sable de Reggane.

II.2.La région d'Adrar :

➤ Le sol d'Adrar:

Le gisement de l'argile utilisée est situé au Nord de la ville d'Adrar sur le côté gauche de la route nationale N°6 reliant Adrar à Béchar (Photo II.2).

➤ Le sable concassé de koussan (Adrar):

La carrière est localisée sur la partie Sud de centre de ville d'Arar, les pistes menant vers le gisement sont d'une accessibilité facile (Photo II.2).

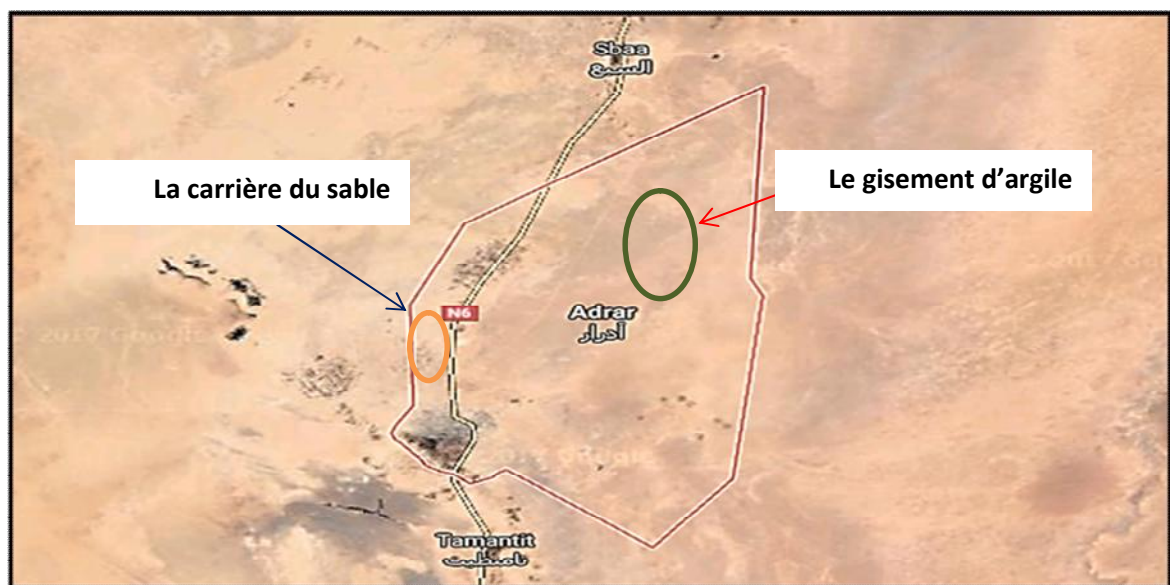


Photo II. 2 : Localisation des gisements d'argile et la carrière du sable d'Adrar.

II.3. La région de Timimoun :

➤ Le sol de Timimoun:

Le site d'argile est situé au Sud de la ville de Timimoun sur la côté gauche de la route menant vers la wilaya d'Adrar (Photo II.3).

➤ Le sable concassé de Charouine (région de Timimoun):

Le gisement est situé à 16km au Nord – Est de la commune de Charouine et à 750m au Nord de la rue N°51, en direction de Timimoun (Photo II.3).

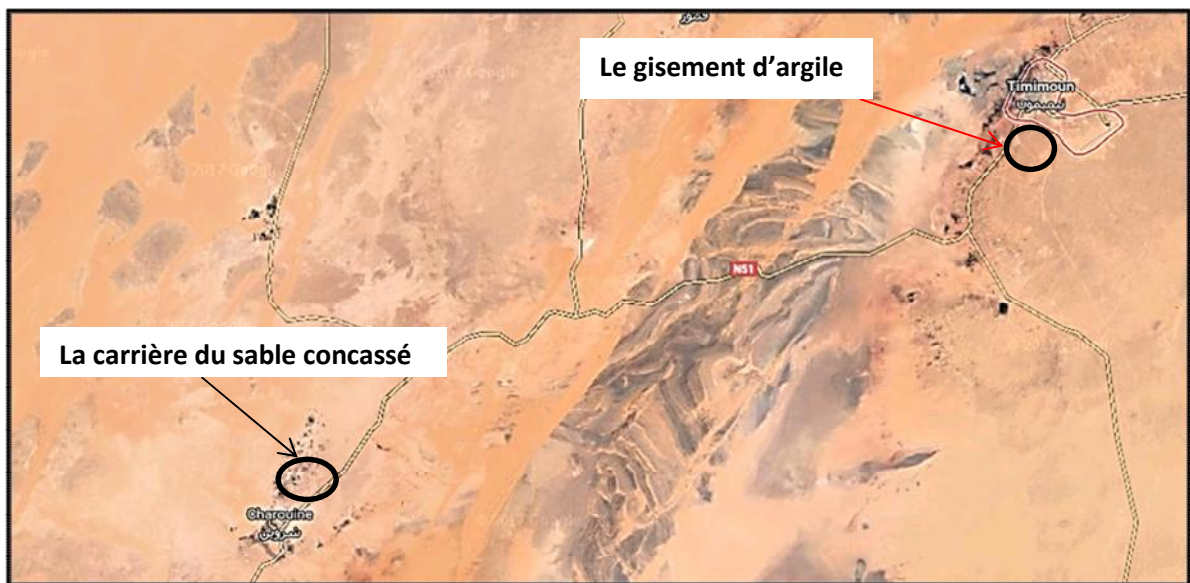


Photo II. 3 : Zone de prélèvement de l'Argile de Timimoun et le sable concassé de Charouine.

III. Essais d'identification:

III.1. Les caractéristiques physiques des matériaux utilisés:

III.1.1. Analyse granulométrique par sédimentation (NF P94-057):

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 $80\mu\text{m}$). 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 $80\mu\text{m}$.

- **Principe de l'essai :**

Le principe de cet essai est fondé sur la loi de Stokes où la vitesse de sédimentation des particules en suspension dans un milieu dépend de leurs diamètres

- **Mode d'opérateur:**

L'analyse par sédimentation est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage. Les particules inférieures à 80 µm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'un défloculant. Les particules sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille. Au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et la profondeur d'immersion de l'appareil. La distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de ces données.

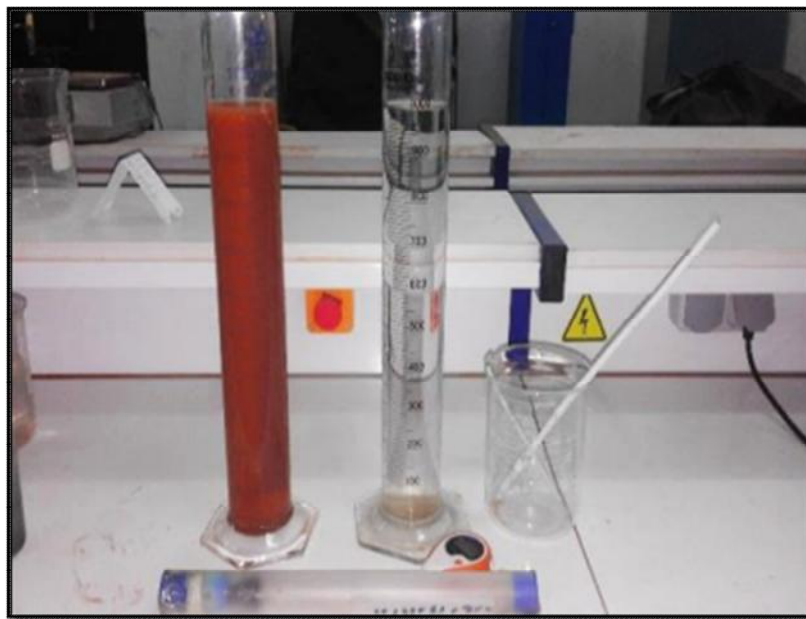


Photo II.4: Appareillage de l'analyse granulométrique par sédimentation.

- **Pourcentage des éléments inférieurs à D :**

Le pourcentage est donné par la formule suivante :

$$P = \left[100 * \frac{V_s}{m} * \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} * \rho_w \right] (R_t - R_B)$$

Tel que :

V_s : Volume de la suspension 1000L.

m : Masse du sol sec utilisé ($m = 20$ g).

ρ_s : Masse volumique des grains solides = 2,65 g/cm³

ρ_w : Masse volumique de l'eau

R_t : Lecture de l'éprouvette A au temps t

R_B : Lecture de l'éprouvette B (Eprouvette témoin).

• **Calcul des diamètres des particules non décantée:**

Le diamètre des particules qui sont en suspension est donné par la relation:

$$D = F \sqrt{Ht/t}$$

F : est un facteur donné par l'abaque .

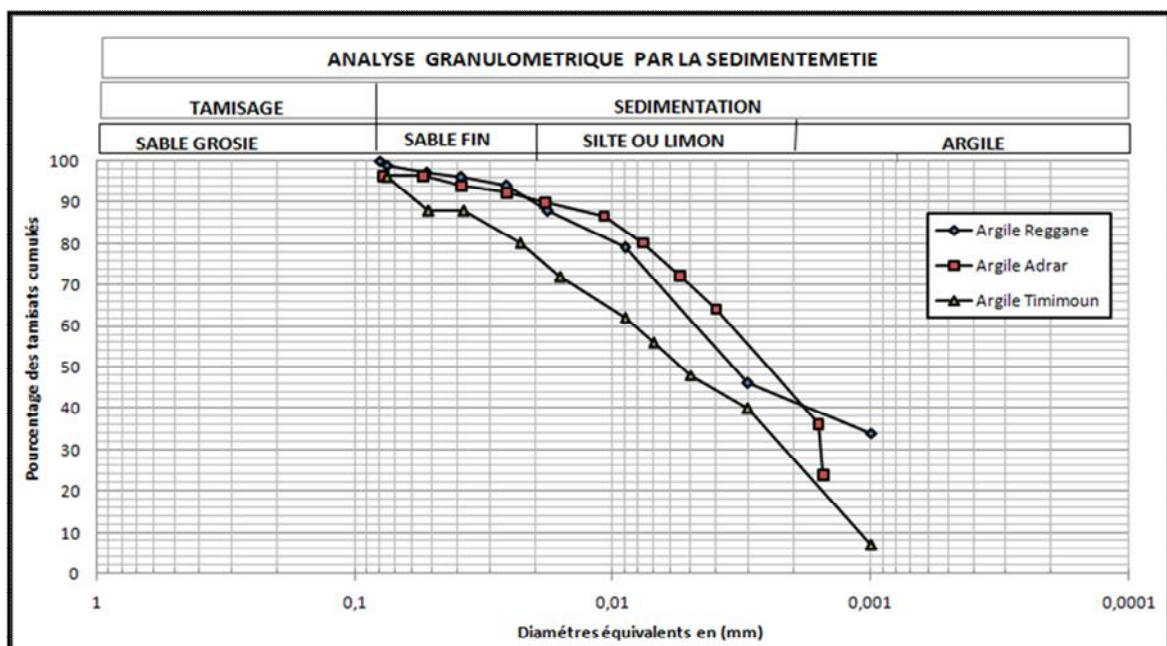


Figure II.1: Courbes granulométrique des sols étudiés.

Tableau II.1: Granularité des sols étudiés.

	Adrar	Timimoun	Raggane
Sable (>0,02mm)	10	20	10
Limon (0,02-0,002mm)	46	50	48
Argile (<0,002mm)	44	30	42

Le tableau ci-dessus représente les valeurs de l'analyse granulométrique par sédimentation. Suivant la classification Américaine (USCS), nous pouvons dire que les sols AA, AR et AT sont des sols fins avec leur pourcentage de particules de diamètre inférieurs à $80\mu m$ supérieurs 99%. avec la présence des éléments argileux variant entre 30% à 44%.

Donc les sols étudiés sont classer comme un sol argile-limoneux ou bien limon-argileux.

Suivant la forme des courbes granulométriques, et suivant la norme USCS (unified soil classification system), nous pouvons conclure que tous les échantillons prélevés sont d'une distribution dimensionnelle continue ainsi que nous pouvons dire que toutes ces terres sont d'une granulométrie étalée. En fait il n'y a pas d'interruption granulométrique. Tous les diamètres de particules sont représentés.

III.1.2. Le poids spécifique des grains solides (NF P94-054):

- **Définition :**

Le poids spécifique des particules solides du sol (γ_s) est le rapport de la masse de ces particules solides (M_s) par leur volume absolu (V_s). $\gamma_s = \frac{M_s}{V_s}$.

γ_s : Poids spécifique des particules solides.

M_s : Poids du sol sec.

V_s : Volume des particules solides.

- **Principe de la mesure :**

Le poids spécifique des particules solides est obtenue par pesage le volume est mesuré au pycnomètre.



Photo II.5:Détermination du poids volumique des grains solides.

- **Expression des résultats :**

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

est : $\gamma_w = 1 \text{ g/cm}^3$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w * (m_2 - m_1)}{m_4 + m_2 - m_1 - m_3}$$

m1 : Pycnomètre vide.

m2 : Pycnomètre + l'eau désilé jusqu'a le repère

m3 : Pycnomètre + échantillon.

m4 : Pycnomètre +échantillon + l'eau

Tableau II.2: Poids spécifiques des différents sols étudiés.

La Région	Adrar	Timimoun	Reggane
$\gamma_s(\text{g/cm}^3)$	2,6	2,61	2,66

Tableau II.3: Valeurs de γ_s pour différents types de sols à 20° C[3].

Argile	γ_s (KN/m ³)
Quartz	26,6
Calcite	27,2
Dolomite	28,5
Kaolinite	26,1 à 26,4
Illite	26,0 à 28,6
Montmorillonite	27,5 à 27,8

Les résultats obtenus des poids spécifique des grains solides des sols sont variant entre 2,6 à 2,66 g/cm³. Suivant le tableau II.3 ci-dessus les terres contiennent de mélange du Quartz, illite et la kaolinite.

III.1.3. Les limites d'Atterberg (NF P 94-051):

La consistance d'un sol peut varier dans de large limites avec:

- La quantité d'eau interstitielle que contiennent ses pores.
- L'épaisseur des couches d'eau absorbée qui enrobent ses grains.

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre:

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité w_L).
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité w_P).

Ces limites ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition considéré, exprimé en pourcentage poids du matériau sec. Nous pouvons présenter ces trois états de consistance (Figure II.2) :

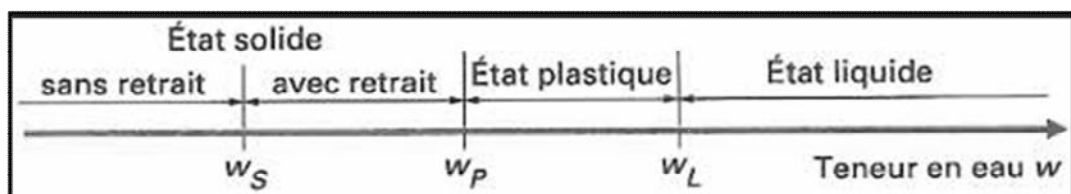


Figure II.2: États d'un sol en fonction de sa teneur en eau.

A. Limites de liquidité (W_L):

La limite de liquidité (W_L) caractérise la transition entre un état plastique et un état liquide. C'est la teneur en eau pondérale, exprimée en pourcentage.

- **But :**

Il consiste à déterminer la teneur en eau de notre échantillon lors de son passage de l'état liquide à l'état plastique par la méthode de la coupelle de Casagrande.

- **Principe d'essai:**

Elle consiste à déterminer la teneur en eau de l'échantillon. Cet échantillon est lavé au tamis de 0,4mm afin de récupérer le tamisât. Ce tamisât, une fois transformé en pâte homogène, est répartie dans la coupelle. A l'aide de l'outil à rainure, elle est divisée en deux (02) parties égales (photo II.6).

Ensuite, on porte des coups à la coupelle grâce à la manivelle jusqu'à obtenir une fermeture d'un centimètre de la pâte. Une tranche de cette pâte sera pesée humide puis séchée à l'étuve

Afin de déterminer sa teneur en eau. L'opération est effectuée cinq (05) fois et on s'assure que la plage de coups [15-35] est respectée.

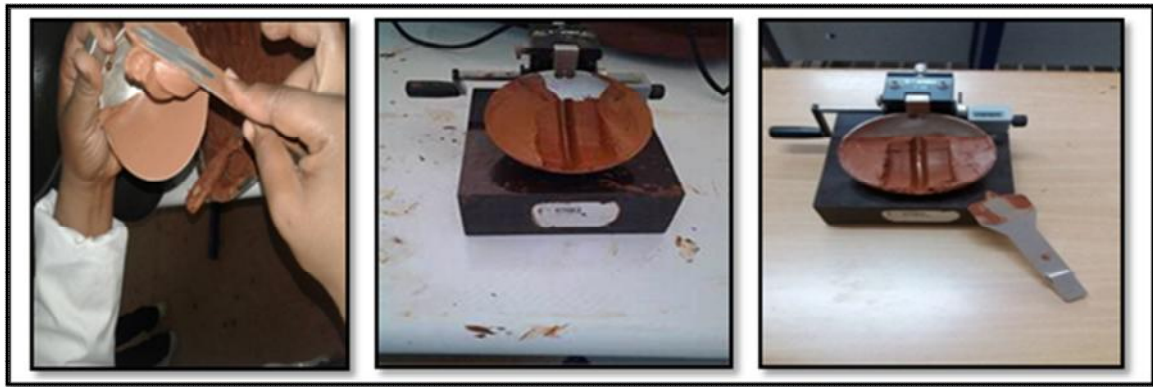


Photo II.6:Détermination de la limite de liquidité W_L .

Tableau II.4: Résultats de la limite de liquidité des sols analysés (Annexe 1).

La région	Adrar	Timimoun	Reggane
$W_L(\%)$	80	49,9	64,7

B. Limites de plasticité (W_p):

- **But:**

Cet essai a pour but de déterminer la teneur en eau de l'échantillon à son passage de l'état plastique à l'état solide.

- **Principe de l'essai:**

Elle consiste à rouler à la main l'échantillon de la pâte utilisée pour la limite de liquidité. Puis, avec la paume de la main on forme un bâtonnet fin de diamètre 3mm. En le roulant, on devra observer des cassures du bâtonnet pour conclure que la limite de plasticité est atteinte. La manipulation se fait à quatre (04) fois. Enfin les morceaux de chaque bâtonnet, pesé humide est alors séché à l'étuve pour avoir la teneur en eau (photo II.7).



Photo II.7 : Mode opératoire de la limite de plasticité.

Tableau II.5: Résultats de la limite de plasticité.

La région	Adrar	Timimoun	Reggane
W_p (%)	34,5	26	33

- **Indice de plasticité I_p :**

C'est la différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique

$$I_p = W_L - W_p$$

Tableau II.6: Résultats de l'indice de plasticité.

La région	Adrar	Timimoun	Reggane
I_p	45,81	23,86	31,7

- **Classification de Casagrande :**

La classification des sols fins utilise les critères de plasticité liés aux limites d'Atterberg. Elle est précisée dans le diagramme de plasticité ci-après (Figure II.3). Selon la position dans le diagramme du point représentatif ayant pour abscisse la limite de liquidité et pour ordonnée l'indice de plasticité.

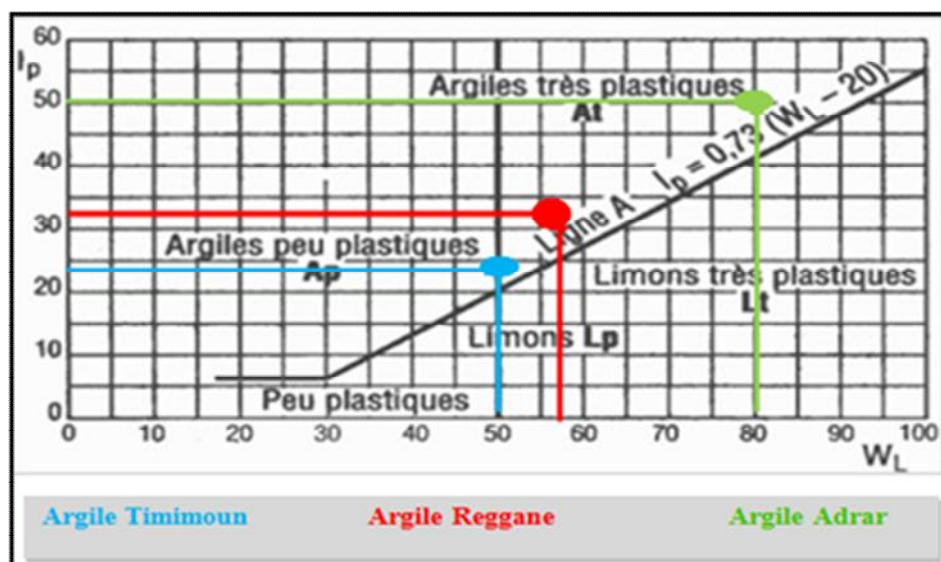


Figure II.3: Classification des sols étudiés sur le diagramme de Casagrande.

Suivant le diagramme de classification ci-dessus nous pouvons dire que les sols d'Adrar et Reggane sont comme des argiles très plastique, par contre le sol de Timimoun est classer comme une argile peu plastique.

-

- Atterberg (1973) classe la plasticité des argiles en trois niveaux comme montrés dans le (tableau II.7). suivant :

Tableau II .7 : Classification des argiles selon d'Atterberg(1973)[3]

I_p	$I_p < 7$	$7 < I_p < 17$	$I_p > 17$
la plasticité	Faible	Moyenne	Elevée

Suite les valeurs obtenus de l'indice de plasticité des sols, et suivant le tableau ci-dessus, nous avons classé la plasticité de nos sols comme une plasticité élevée.

- **L'Activité des argiles:**

Selon SKEMPTON l'activité d'une argile (A_c) se définit comme suit :

$$A_c = \frac{\text{Indice de plasticité}}{\% \text{ des éléments } < 2\mu}$$

Tableau II.8:L'activité des sols étudiés.

	Adrar	Timimoun	Reggane
I_p	45,81%	23,86	31,7
$< 2\mu$	44%	30%	42%
A_c	1,04	0,79	0,75

Tableau II .9 : Activité des argiles (Skempton,1953)

Activité (Ac)	Dénomination
$0 < Ac < 0,5$	Inactif
$0,5 < Ac < 0,75$	Peu actif
$0,75 < Ac < 1,25$	Normal
$1,25 < Ac < 2$	Actif
$Ac > 2$	Très actif

L'activité des sols étudiés son été classée comme une activité normale.

• **La limite de retrait W_R (XP P 94 060-1):**

La limite de retrait représente la teneur en eau du passage de l'état solide avec retrait à l'état solide sans retrait.

La limite de retrait (W_R) est une valeur obtenue à partir d'un échantillon dont la teneur en eau initiale est proche de celle de la limite de liquidité.

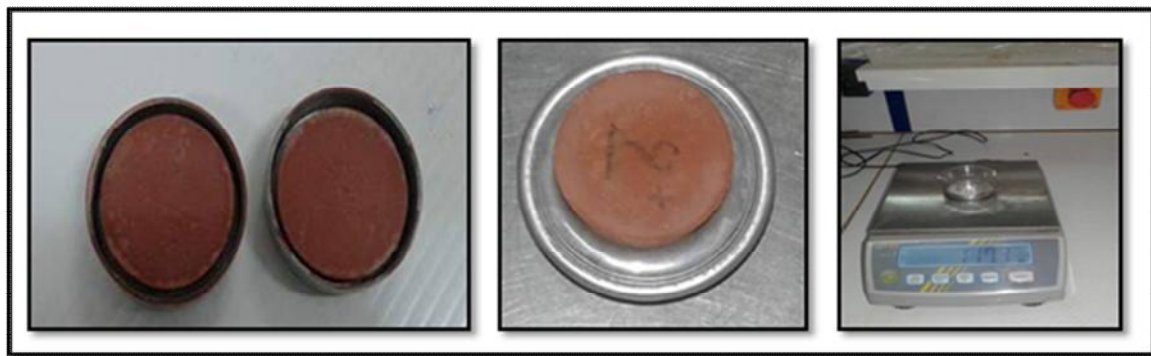


Photo II.8: Mode d'opérateur de limite de retrait.

Tableau II.10 : Résultats de limite de retrait.

La région	Adrar	Timimoun	Reggane
$W_R(\%)$	19,34	17,93	12.5

On définit I_R comme étant l'indice de retrait on a $I_R = W_L - W_R$

Tableau II.11: Valeurs de l'indice de retrait des sols étudiés.

La région	Adrar	Timimoun	Reggane
I _R	60,66	29	54,31

Le tableau ci-après regroupe les résultats obtenus de la consistance des sols étudiés.

(Tableau II.12)

Tableau II.12: Caractéristiques physiques des sols étudiés.

Paramètres	W _L %	W _P %	I _P	W _R %	I _R
Argile A	80	34	45,81	19,34	60,66
Argile T	49,9	26	23,86	17,93	29
Argile R	64,8	33	31,8	12,5	54,31

III.2. Les caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés:

III.2.1: L'essai Proctor normal (NF P 94-093):

- **but de l'essai :**

- déterminer la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale.

- **principe de l'essai :**

Le principe de l'essai consiste à l'humidifier un matériau à plusieurs teneur en eau et à le compacter, pour chacun teneur en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacun des valeurs de teneurs en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. La courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor normale (photo II.9).



Photo II .9: Mode opératoire de Proctor normal.

Les courbes Proctor avec différents degré de saturation des sols AA, AR et AT sont présentés dans les figures ci-dessous (Figure II.4), (Figure II.5) et (Figure II.6).

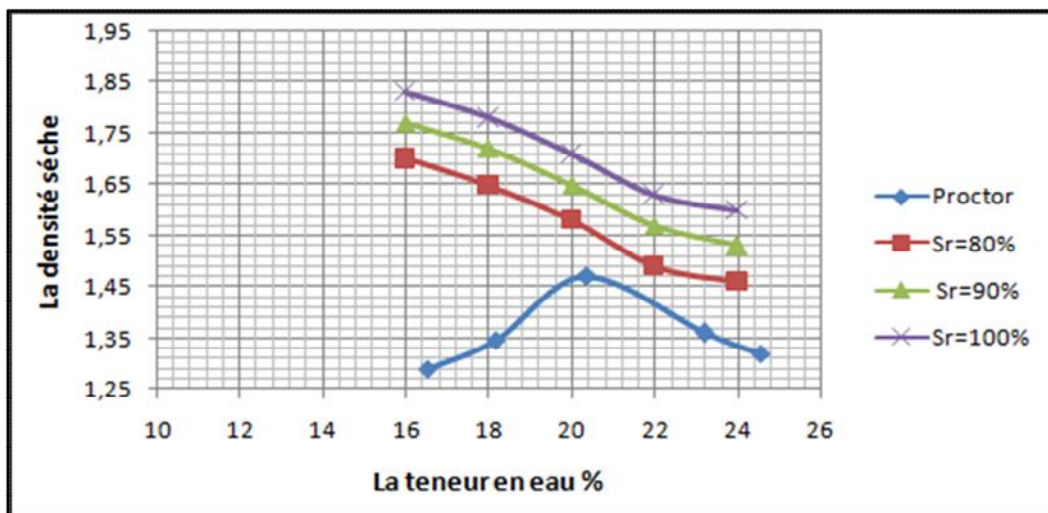


Figure II.4 : Courbe Proctor de la terre d'Adrar (Annexe 2)

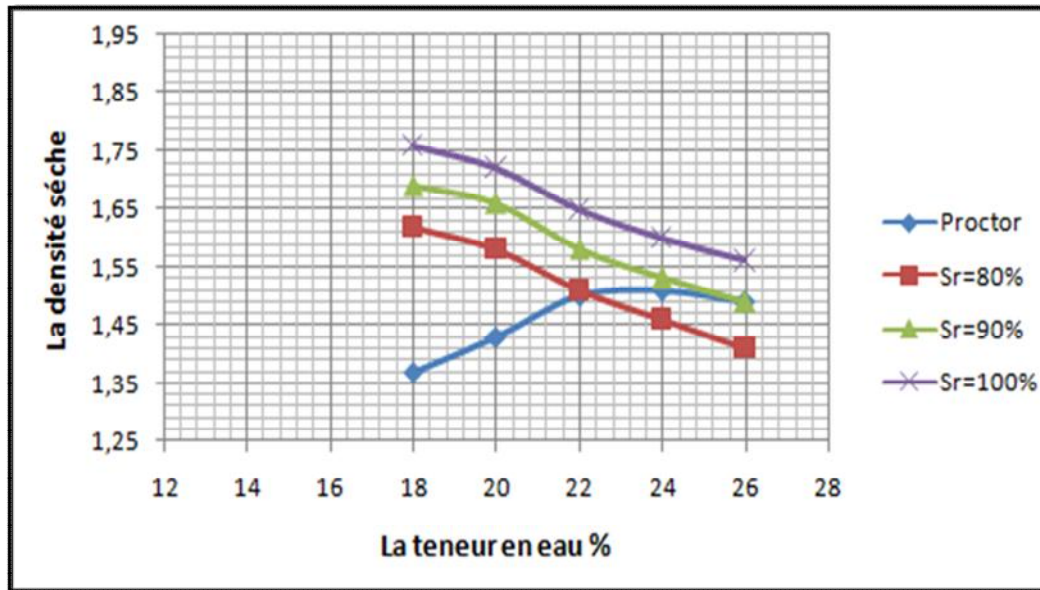


Figure II.5 : Courbe Proctor de la terre de Timimoun (Annexe 3)

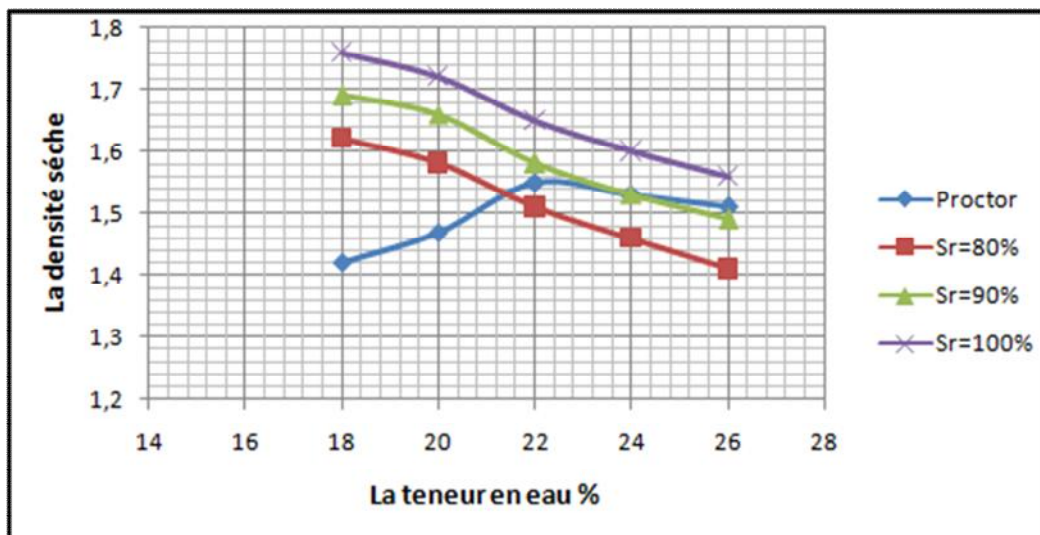


Figure II. 6 : Courbe Proctor de la terre de Reggane (Annexe 4).

III.3. Les caractéristiques chimiques des matériaux utilisés:

III.3.1. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068):

L'essai est fait selon la norme (NF P 94-068). Le principe de cet essai consiste à contrôler l'absorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant les fines de la prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre. La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu soutenu, entouré d'une zone humide incolore (Photo II.10).



Photo II.10:Mode opératoire de l'essai de bleu méthylène.

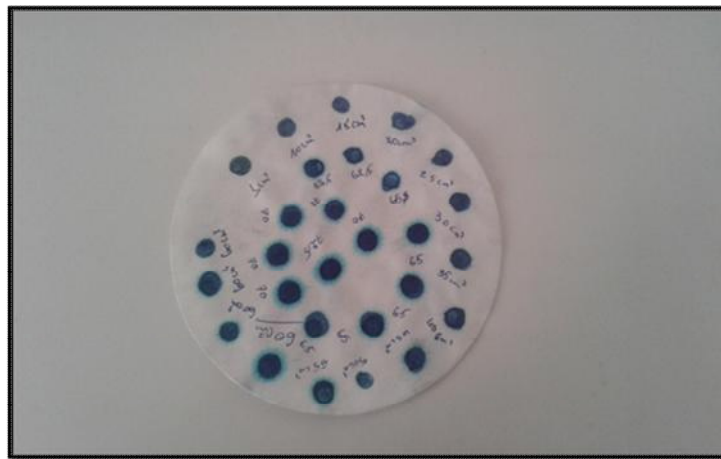


Photo II.11:Résultat de l'essai de bleu méthylène.

Calcul de la valeur de bleu de méthylène:

$$VB=10 \cdot V/M$$

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 :

$$SST (m^2/g) = 20,93 \cdot VB.$$

Les valeurs de VB obtenues sont regroupées dans le tableau suivant (Tableau II.13).

Tableau II.13: Résultats de bleu méthylène et de SST des sols étudiés.

Echantillon	VB	SST (m ² /g)
Argile de Reggane	7,25	151,74
Argile Adrar	11	230,93
Argile Timimoun	8,5	177,90

Tableau II.14: Classification des sols d'après Philipponat.

La valeur de bleu	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

Suivant le tableau II-14 de classification ci-dessus, nous pouvons dire que le sol de Reggane est un sol argileux et les sols d'Adrar et Timimoun sont des sols très argileux.

III. 3.2. Teneur en carbonate de calcium CaCO₃ (NF P94-051) :

La teneur en carbonate de calcium CaCO₃ d'un sol est déterminée par attaque à l'acide chlorhydrique d'une certaine quantité de sol sec. La mesure de la quantité de gaz carbonique dégagé permet de calculer la masse de carbonate de calcium dissoute et donc la teneur en carbonates de calcium du sol CaCO₃, exprimée en pourcentage de la masse de la phase solide du sol (photo II.12).

Les sols fins contenant du carbonate de calcium peuvent être désignés comme indiqué dans (le tableau II.15) en complément de leur classification géotechnique.

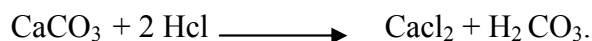
Tableau II.15 : Teneur en CaCO₃ de quelques sols[15].

Pourcentage de CaCO ₃	Dénomination
0 à 10	Argile ou limon
10 à 30	Argile Calcaire
30 à 70	Marne
70 à 90	Calcaire marneux
90 à 100	Calcaire

La teneur en carbonate de calcium CaCO₃ est représentée par la formule suivante :

$$\text{CaCO}_3 = \frac{\text{Volume de gaz carbonique (CO}_2\text{) dégagé par 0,5g d'échantillon}}{\text{Volume de gaz carbonique (CO}_2\text{) dégagé par 0,5g de CaCO}_3}$$

La réaction qui se produit est de forme



1. Appareillage utilisé :

- Calcimètre Dietrich – Fruhling.
- Hcl.
- Burette de 10 cm³.
- Balance de précision 1/100g
- Tamis 0.2 mm

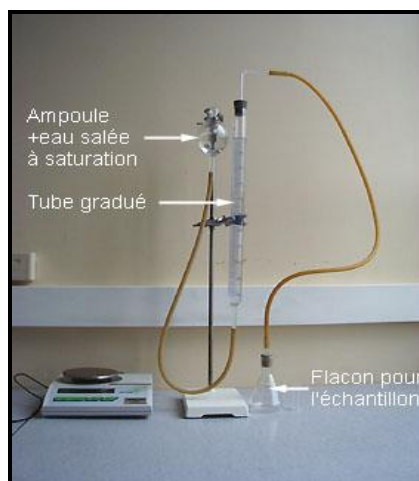


Photo II.12: Appareille de Calcimètre Dietrich – Fruhling.

2. Mode opératoire :

- L'échantillon séché tamisé au 0,2 mm est versé dans un flacon auquel on introduit une burette contenant 10 cm³ de Hcl.
- On ferme l'ensemble grâce à un bouchon relié à un Calcimètre et on prend la lecture initiale correspondant au volume d'air du flacon.
- Après agitation de l'ensemble (échantillon + acide), on prend la lecture finale.
- On procède de la même manière en remplaçant l'échantillon sec par 0,5g de carbonate de calcium.

Tableau II.16: Valeurs de la teneur en carbonate de calcium.

La région	Adrar	Timimoun	Reggane
CaCO ₃ (%)	3,6	2,7	4,5

D'après les valeurs obtenues, les sols ont été classés comme un sol argileux ou limoneux.

IV. Les caractéristiques physiques et chimiques de sable concassés utilisés:**IV.1. Les caractéristiques physiques des sables concassés utilisés:****IV.1.1. La masse volumique apparente (NF P 18 555):**

- **Mode opératoire :**
 - ✓ On pèse un récipient vide M_v
 - ✓ Remplir le récipient par les granulats
 - ✓ Araser la couche supérieure du récipient à l'aide d'une règle
 - ✓ Peser le récipient plein soit M_p
 - ✓ V : volume de récipient (cm³)

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M_p - M_v}{V}$$

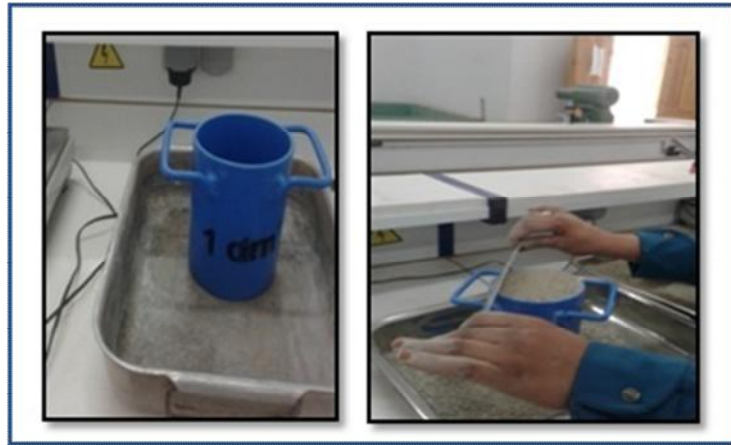


Photo II.13: Mode opératoire de la masse volumique apparente.

IV.1.1.2. La masse volumique absolue (NF P 18 555):

- **Mode opératoire :**
- ✓ remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
- ✓ peser un échantillon sec M de granulats (300g) et l'introduire dans l'éprouvette en Prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- ✓ Lire le nouveau volume V_2 . $\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$

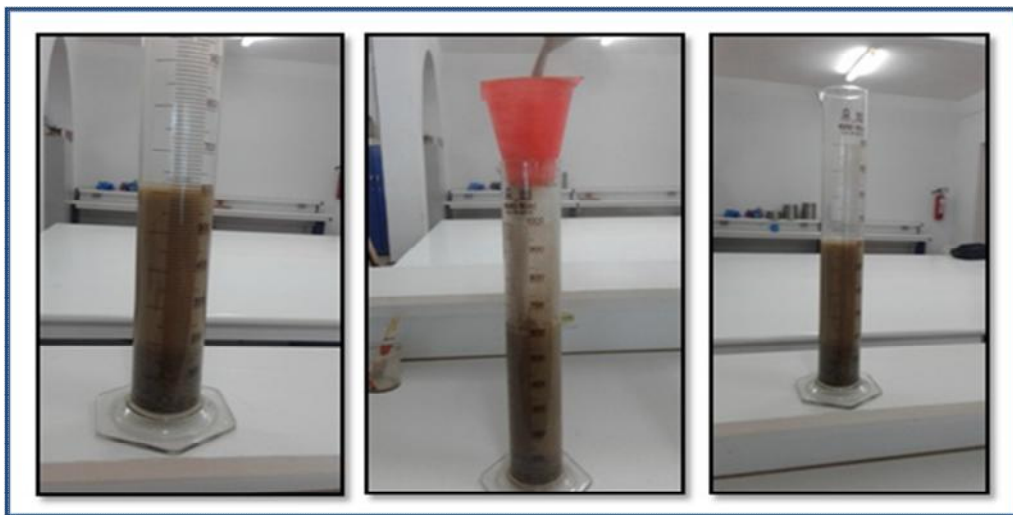


Photo II.14: Remplissage de l'échantillon dans l'éprouvette.

Tableau II.17: Résultats de la masse volumique apparente et absolue (Annexe 5)

	$\rho_{\text{abs}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$\rho_{\text{app}} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
SCR	2,64	1,59
SCK	2,5	1,46
SCC	2,72	1,57

IV.1.3. Equivalent de sable (NFP 18-598):

- **But de l'essai:**

L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de définir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté du sable.

- **Principe:**

L'équivalent de sable est consisté à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage (photo II.15).

- **Matériel utilisé:**

Eprouvettes, en matière plastique, avec 2 traits repères

(\varnothing int=32 mm; h=430mm), entonnoir, tamis, spatule, balance, thermomètre, récipients, machine agitatrice électrique ou manuelle, règle et piston.



Photo II.15: Essai d'équivalent du sable.

- Principe de calcul:

$$Esv(\%) = \frac{h_2}{h_1} 100$$

$$Esp(\%) = \frac{h'2}{h_1} 100$$

h 1 : hauteur de sable avec les fins.

h 2 : hauteur de sable visuel.

h'2 : hauteur de sable avec piston.

Tableau II.18:Résultats d'essai de l'équivalent de sable (Annexe 5)

	ESP %	ESV %
SCR	62,70	69,18
SCK	35,09	36,49
SCC	53,61	54,52

Tableau II.19: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	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
70<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.1.4. Analyse granulométrique par tamisage (NF P 18 560):

Analyse granulométrique : est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille).

• But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon.

• Mode opératoire :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisât sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).



Photo II.16: Analyse granulométrique du sable concassé.

Nous pouvons déterminer un certain nombre de paramètres utiles à la connaissance de nos sables. Parmi ces paramètres on peut citer :

Le coefficient d'uniformité, noté C_u et donné par la relation :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Le coefficient de courbure noté Cc et donné par la relation :

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

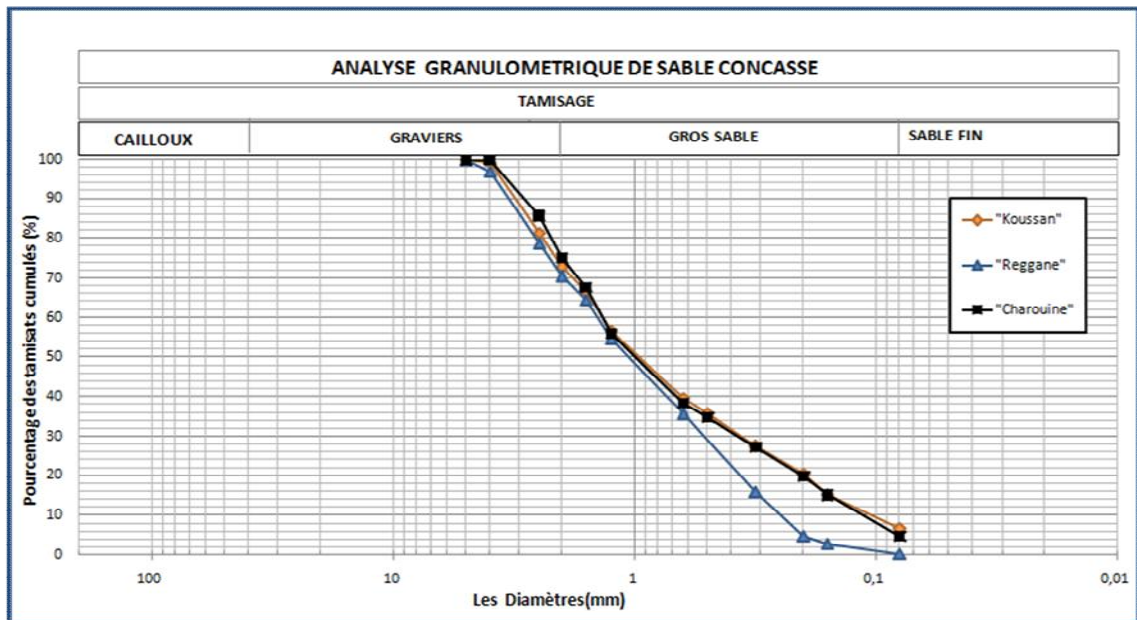


Figure II.7: Courbes granulométriques des sables concassés utilisés.

Tableau II.20: Résultats de l'analyse granulométrique des sables utilisés (Annexe 5).

	Sable Concasse R	Sable Concasse K	Sable Concasse ch
D10	0,25	0,1	0,12
D30	0,51	0,35	0,39
D60	1,5	1,5	1,45
Cu	6	15	12,08
Cc	0,666	0,816	0,87
d/D	0/4	0/3.75	0/4

Classification LCPC:

Par exemple : Le sable de Reggane:

Pour $D_{0.08\text{mm}}$ $RC\%=99,66 \rightarrow RC\% > 50\%$ donc **sol grenus**

Pour $D_{2\text{mm}}$ $RC\%=29.49 \rightarrow RC\% < 50\%$ donc on a **un sable**

Pour $D_{80\mu\text{m}}$ $TC\%=0,34 < 5\%$; $Cu = 6$; $Cc=0,666$ $Cu < 6$ et $Cc < 1$ Selon la classification

LCPC la classe de notre sol est **un sable propre mal gradué ;**

Pour le sable de Koussan \rightarrow **sable propre mal gradué ;**

Pour le sable de Cherouine \rightarrow **sable propre mal gradué.**

❖ **Module de finesse:**

Selon la norme Française (NFP 18-304) le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,80, 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 ... mm.

$$MF = 1/100 * \sum(\text{Refus cumulés en \% des tamis}\{0, 80- 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 \dots\})$$

Tableau II.21: Résultats de module finesse des sables utilisés.

Les échantillons	Module de finesse
MF_R	3,12
MF_K	2,79
MF_C	2,77

IV.2. Les caractéristiques Chimiques des sables concassés utilisés :

IV.2.1. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068):



Photo II.17: Résultat de l'essai de test de la tâche.

Tableau II.22: Valeurs de bleu méthylène et de SST des sables concassés

Echantillons	VB	SST (m ² /g)
sable concassé de Reggan	0,5	20.93
sable concassé de koussan	0,5	20.93
sable concassé de Cherouine	0,5	20.93

IV.2.2: Essai de l'analyse chimique de l'eau de gâchage :

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université d'Adrar. L'eau permet à la fluidification de la pâte, l'analyse chimique de l'eau a été effectuée au niveau de laboratoire de traitement des eaux (ANRH) d'Adrar..

Tableau II.23: Composition chimique de l'eau de gâchage utilisé.

Composants	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	Ka ⁺⁺	Cl ⁻	So ₄ ⁻⁻
Valeurs (%)	200.00	150.00	200.00	12.00	500.00	400

Tableau II.24: Paramètres physico-mécaniques et chimiques des matériaux étudiés.

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs		
Sols			AR	AA	AT
Densité des grains solides	$s\gamma$	g/cm^3	2,66	2,6	2,61
Limite de liquidité	W_L	%	64,8	80	49,9
Limite de plasticité	W_P	%	33	34	26
Limite de retrait	W_R	%	12	19,34	20,9
Indice de plasticité	I_P	-	31,8	45,81	23,86
Indice de retrait	I_R	-	54,31	60,66	29
Teneur en eau optimale	W_{opt}	%	23	20	24
La densité sèche	G_d	-	1,55	1,47	1,51
Eléments < à 2 μ	< 2 μ	%	42	44	30
Activité	A_C	-	0,75	1,04	0,79
Surface spécifique	SST	m^2/g	151,74	230,93	177,90
Valeur de bleu	VB	-	7,25	11	8,5
CaCO₃	-	%	4,5	3,6	2,7
Sables concassés			SCR	SCK	SCC
Equivalent de sable	ESP	%	62,70	35,09	53,61
Masse volumique absolue	$abs\rho$	g/cm^3	2,64	2,5	2,72
Masse volumique apparente	$app\rho$	g/cm^3	1,59	1,46	1,57
Module de Finesse	MF	-	3,12	2,79	2,77
Valeur de bleu	VB	-	0,5	0,5	0,5

V. Conclusion :

Le présent chapitre est consacré sur la présentation des essais des caractérisations des matériaux étudiés de trois régions différentes et du matériel associé.

Nous avons tirés les constatations suivants :

- Les essais effectués sur les sols montrent que ces sols sont constitués par d'éléments quartz, illite et kaolinite.
- La plasticité des sols étudiés est très élevée et l'activité à l'eau est normale de ces sols.
- La valeur de bleu de méthylène mesurée montre que nos sols sont de nature argileuse et limoneuse.
- Les essais effectués sur les sables concassés montrent que ces sables sont des sables propre mal gradués ainsi que l'équivalent de sable variant de 35,09 à 69,18 donc les valeurs sont insérés dans les fourchettes prescrites.
- Le module de finesse variant de 2,77 à 3,12.
- La masse volumique absolue moyenne est de l'ordre de 2.62 g/cm^3
- La masse volumique apparente moyenne est égale 1.54 g/cm^3 .

Chapitre III

I. Introduction :

Dans le cadre d'un projet de recherche, un intérêt particulier a été donné aux matériaux terre locaux et chaux éteinte. L'objectif de cette étude est de renforcer les caractéristiques physiques, mécaniques des mélanges (des BTC) à travers une stabilisation à la chaux éteinte. Pour des conditions pratiques et économiques, nous nous sommes fixés dans le cadre de notre étude à des taux de chaux éteinte allant de 2 % à 6 %. Une comparaison sera faite avec des mélanges (les BTC) stabilisés mécaniquement.

II. Méthodologie d'étude :

Dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, nous avons focalisé notre étude sur le sol argileux (Argile) comme matériau de base et d'utilise le sable concassé comme un ajout cela pour adapter la granulométrie d'une part, puis on a ajouté la chaux comme stabilisant chimique pour améliorer certaine caractéristiques d'autre part.

Par ailleurs l'objectif de notre mémoire est présenté la valorisation des matériaux dans le secteur de fabrication des briques de terre comprimée stabilisée notre étude est focalisée sur trois gisements d'argile telles que les régions d'Adrar, Timimoun et Reggane, ainsi que trois sables concassés de provenance différente, la carrière de Koussan, la carrière de Charouine et le gisement de Reggane.

Cependant la chaux utiliser dans notre étude a été fabriqué au niveau de la wilaya de Ghardaia.

La figure ci-dessous présente la méthodologie de notre travail. Que ce soit les matériaux utilisés et le procédé de compactage ainsi l'écrasement des éprouvettes fabriquer à partir du mélange argile plus sable ou bien argile-sable plus la chaux.

Les mélanges sont compactés selon le mode statique à simple effet par d'une presse hydraulique : le plateau inférieur de la presse se déplace entraînant l'ensemble - moule + mélange + piston, le plateau supérieur reste fixe. L'opération est conduite jusqu'à l'affichage sur l'écran de lecture de la pression voulue. Durant toute l'opération d'optimisation on a appliqué trois contraintes de compactage (2MPa , 4MPa et 8MPa) sur les argiles 100 % et sur le mélange (sable + argile), nous avons appliqué une seul contrainte (2MPa) sur le mélange (sable + argile + la chaux) avec des différentes pourcentage de la chaux 2%,4%,6% **(figure III.1)** .

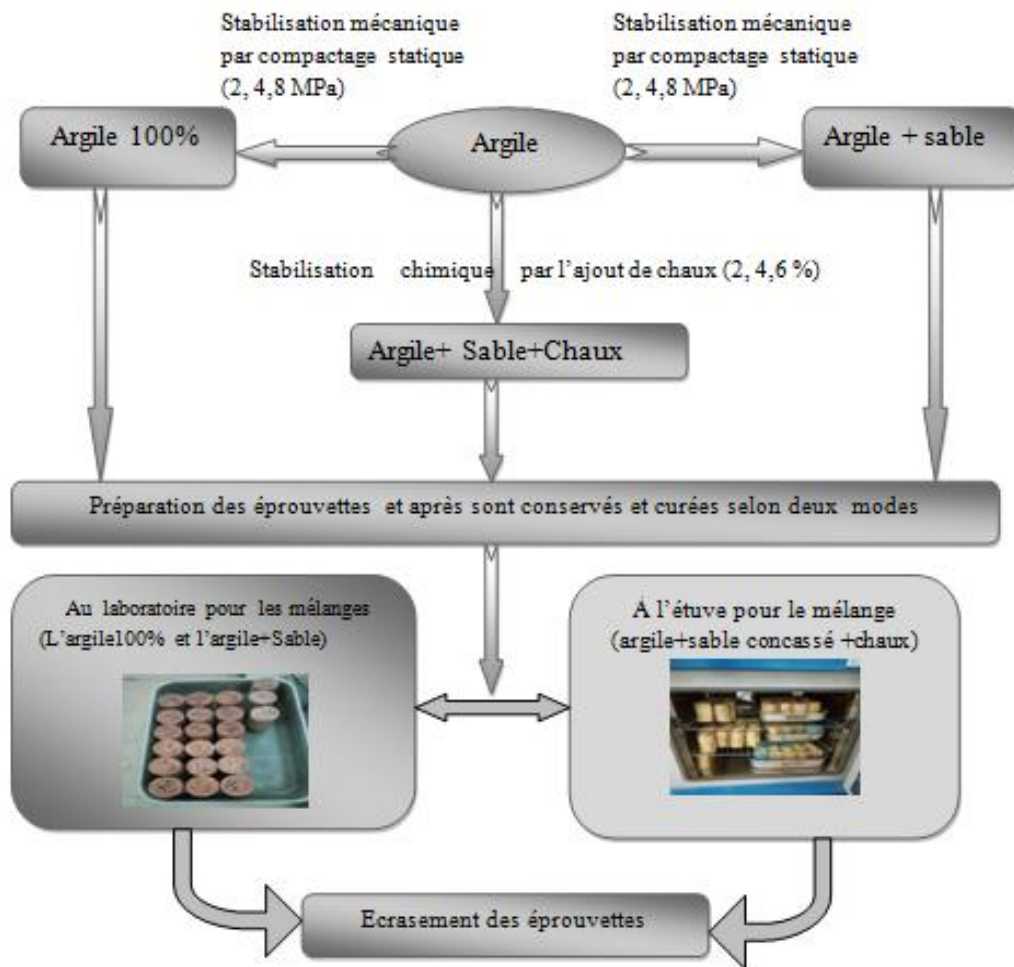


Figure III.1: Méthodologie de l'étude.

III. Préparation des mélanges, Optimisation, compaction et conception des éprouvettes:

III.1. Préparation des mélanges:

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 (sol argileux ,sable concassé et la chaux)sont d'abord mélangés à sec puis malaxer avec l'eau dans un malaxeur à ciment de 5 litres avec

une vitesse de 139 tr/min l'homogénéisation des mélanges à sec est effectuée pendant deux minutes .le malaxage avec l'eau a été effectuée pendant deux minutes ;
Finalement le matériau est mis en place et compacté juste après le malaxage(photoIII.1).



Photo III.1:Essai de compactage statique

III.2.Optimisation de la teneur en eau :

La teneur en eau a une action primordiale sur le comportement des matériaux. Pour tous les matériaux testés, naturels ou reconstitués, surtout lorsqu'ils sont fins [16].

Pour obtenir une fabrication homogène, il est donc indispensable de déterminer cette teneur en eau optimale pour chaque composition. Les éprouvettes sont fabriquées à l'aide d'une presse mécanique à force imposée.

III.3. Méthode de conception des éprouvettes:

Les étapes de la conception sont les suivants :

- Prendre une quantité de matériau sec avec un taux de sable –Argile à une teneur en eau variée.
- Fabriquer quatre éprouvettes à l'aide de la presse.
- Calculer la densité sèche de chaque éprouvette.
- Tracer le diagramme de la densité sèche en fonction de la teneur en eau.
- Détermine la teneur en eau optimale (W_{opt}) correspondant à la densité sèche maximale (γ_d/γ_w)

Nous avons préparé quatre éprouvettes de diamètre de 5cm et d'hauteur de 10 cm, pour chaque teneur en eau et on a fait l'opération de confection de ces éprouvettes à l'aide d'une presse avec une vitesse constante est égale à 1,27mm/min,

A .L' argile (100%):

Les courbes ci-dessous présentent la variation de la densité sèche des argiles étudiées en fonction de la teneur en eau.

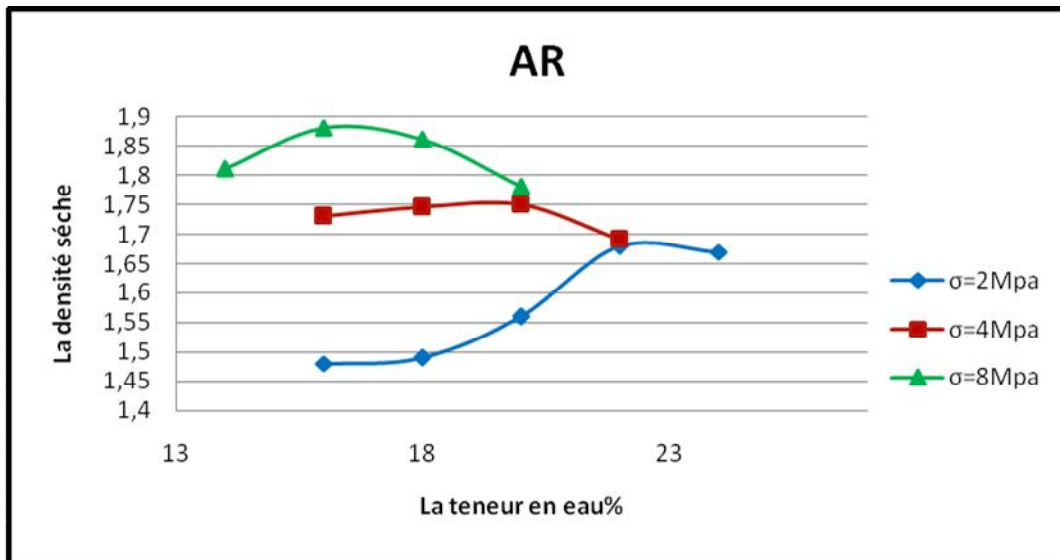


Figure III.2:Optimisation de la teneur en eau de l'argile de Reggane.

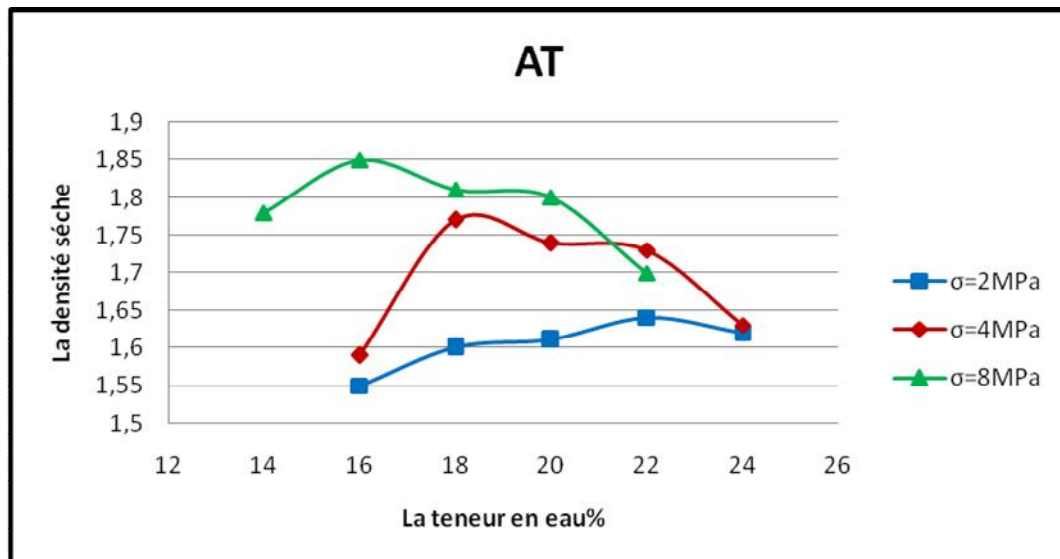


Figure III.3:Optimisation de la teneur en eau de l'argile de Timimoun.

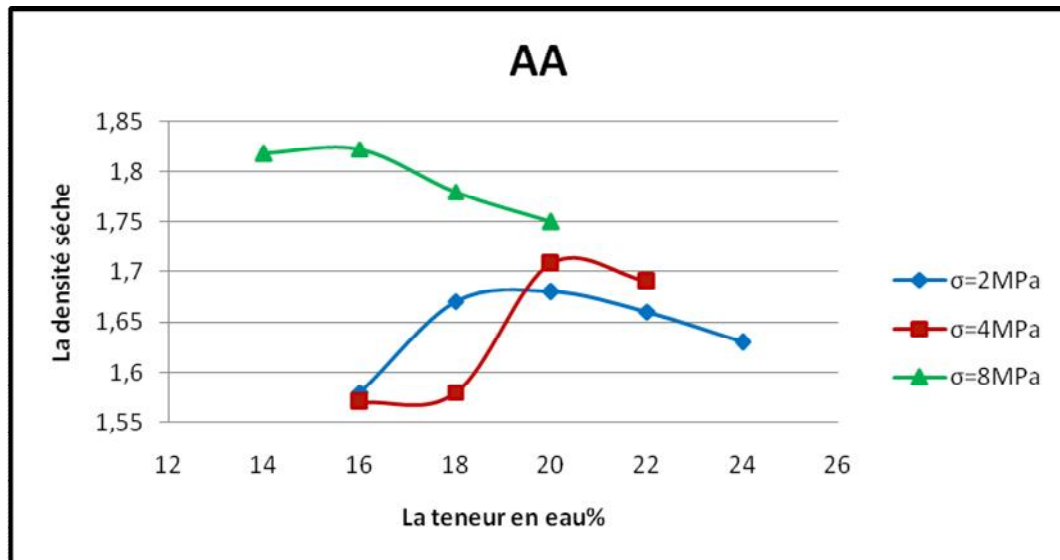


Figure III.4: Optimisation de la teneur en eau de l'argile d'Adrar.

Commentaires

D'après les figures (III.2, III.3 et III.4), nous avons constaté ce qui suit:

- Le compactage statique donne un diagramme analogue par le diagramme Proctor.
- La diminution de la teneur en eau optimale de l'argile est fonction de l'augmentation de la contrainte de confection.
- L'augmentation de la densité sèche maximale est fonction de l'augmentation de la contrainte de confection.

B. Les mélanges (Argile-Sable concassé):

Les figures ci-dessous présentent la variation des mélanges argiles plus sable concassés en fonction de la contrainte de fonction. Ces mélanges sont compactés statiquement.

Par ailleurs les résultats obtenus sont figurés ci-après

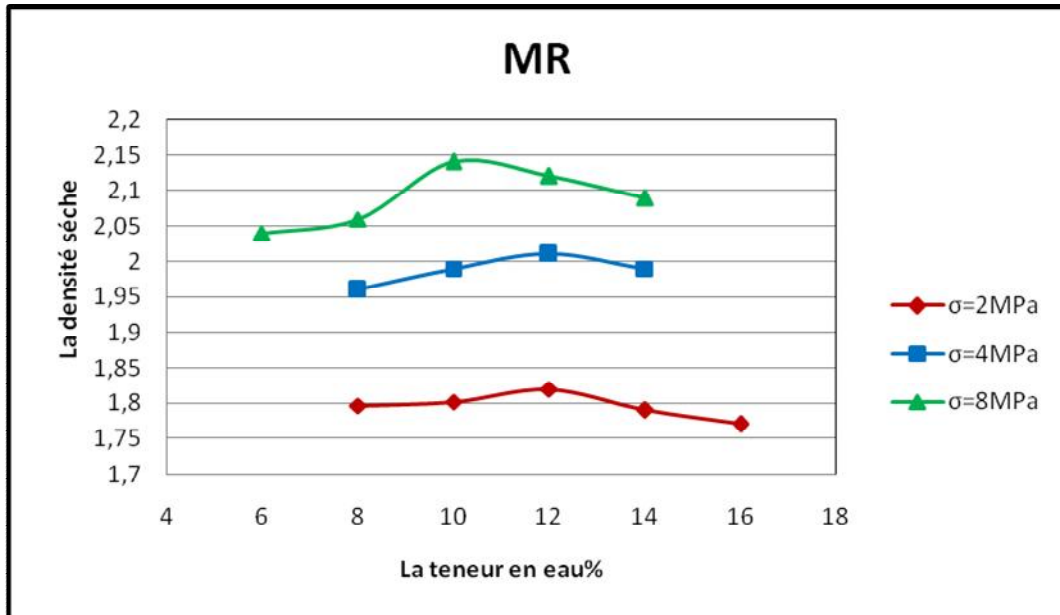


Figure III.5: Optimisation de la teneur en eau du mélange (MR).

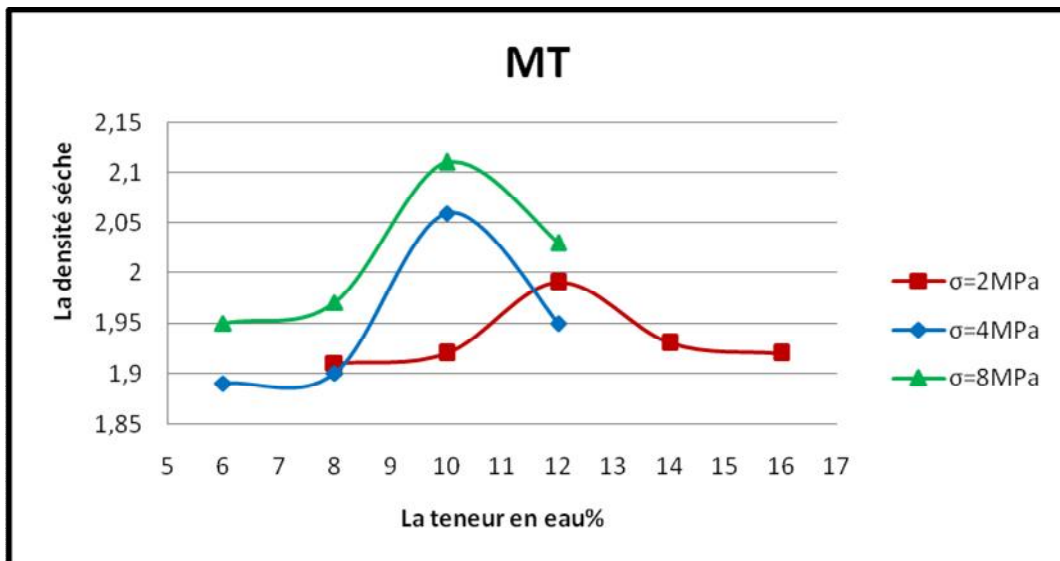


Figure III.6: Optimisation de la teneur en eau du mélange (MT).

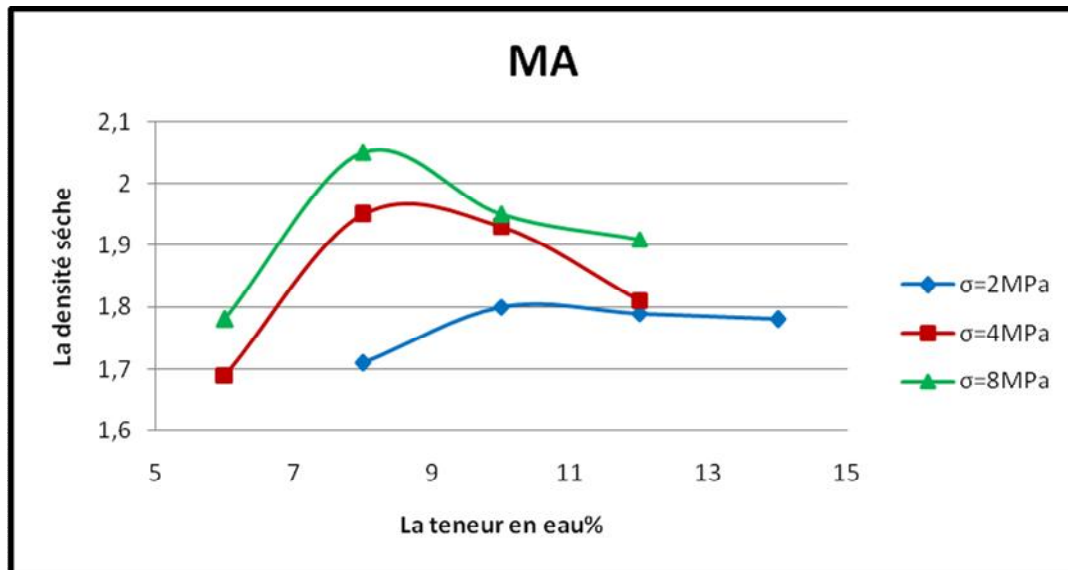


Figure III.7: Optimisation de la teneur en eau du mélange (MA).

Commentaire :

Les figures au-dessus (III.5; III.6; III.7) montrent que l'ajout du sable concassé avec l'argile est influé sur les paramètres optimaux du mélange.

Nous pouvons dire que l'augmentation de la contrainte de confection engendre une diminution de la teneur en eau.

Les mélanges (Argile-Sable plus la Chaux éteinte):

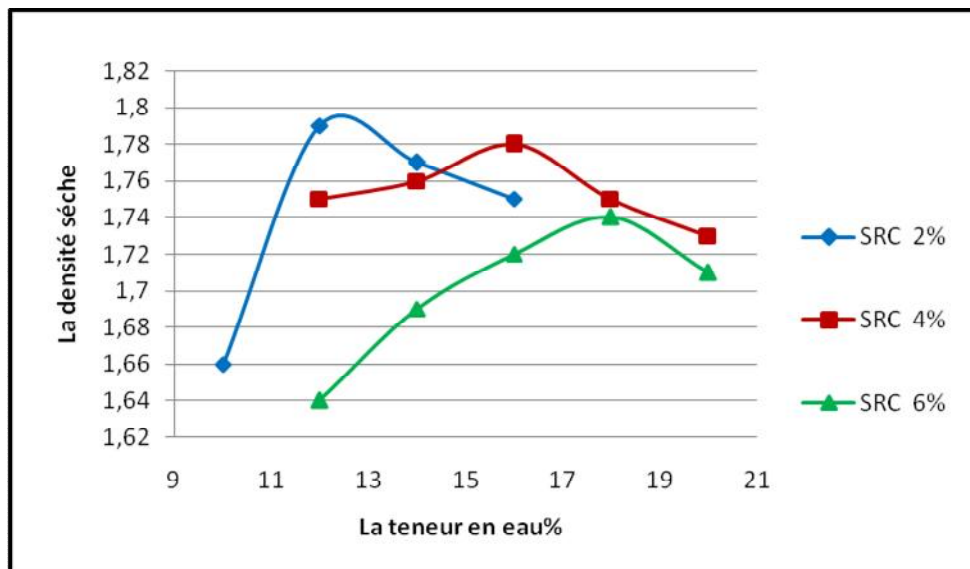


Figure III.8: Optimisation de la teneur en eau du mélange (SRC).

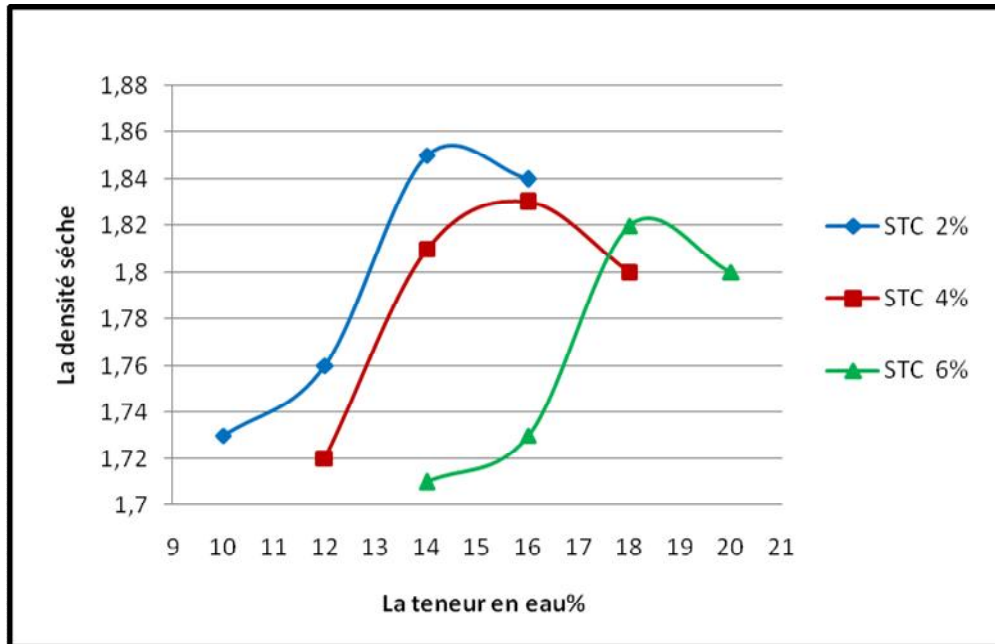


Figure III.9: Optimisation de la teneur en eau du mélange (STC).

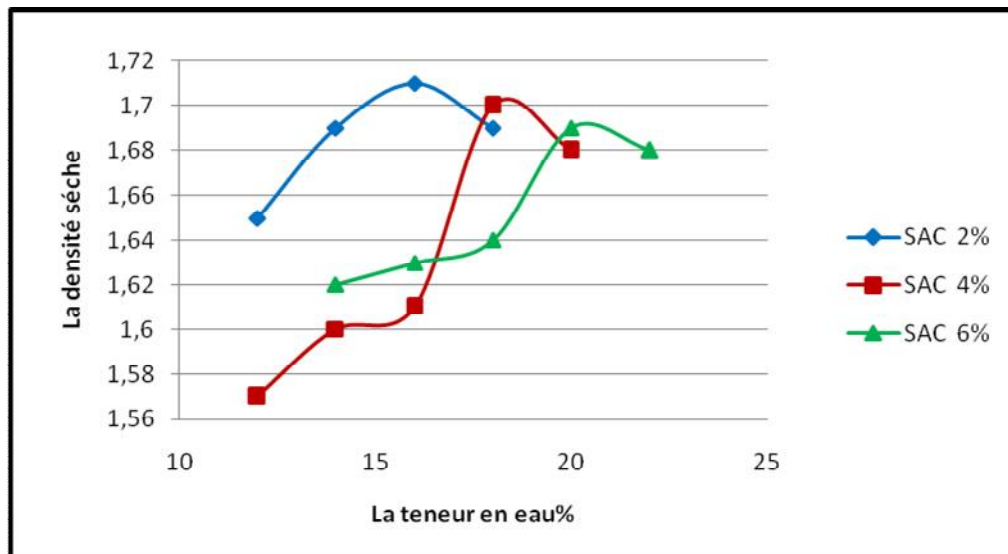


Figure III.10: Optimisation de la teneur en eau du mélange d'Adrar (SAC).

Selon les résultats obtenus de l'optimisation de la teneur en eau du mélange, nous avons constaté que la diminution de la teneur en eau est fonction de l'augmentation du taux de dosage de la chaux 2%,4%,6%

IV. Condition de la cure :

Comme pour le béton, la résistance d'un sol-liant croît avec l'âge. Tous les sols n'ont pas un comportement identique, mais une période de cure de 7 jours est indispensable. Pendant cette période, on maintiendra le matériau en atmosphère humide, à l'abri du soleil, en prenant garde au vent; ceci afin d'éviter un dessèchement trop rapide.

Dans les conditions de conservation réelles, les blocs doivent être protégés avec du plastique durant les premiers jours avant leur utilisation.

Après le démoulage, l'éprouvette est prise manuellement avec précaution, en évitant de toucher les arêtes à cause de la fragilité de l'éprouvette, il est ensuite couvert d'un film en plastique de manière à assurer son étanchéité. Pour favoriser au maximum l'hydratation du liant, l'éprouvette est conservée au laboratoire à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 heures avant d'être soumise aux différents modes de cure.

Les éprouvettes sont curées selon deux modes :

- au laboratoire.
- à l'étuve.

IV.1. Conservation au laboratoire:

Toutes les éprouvettes fabriquées à partir du mélange Argile-Sable et l'argile 100% sans liant, sont conservées au laboratoire à une température $T=20 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à une masse constante (**Photo III.2**) et (**la Figure III.11**).



Photo III.2 : la conservation des éprouvettes (Argile +Sable).

➤ **Séchage des cylindres à base d'argile et à base du mélange argile-sable.**

L'augmentation de la masse volumique sèche des argiles n'a pas d'influence sur le séchage des cylindres (éprouvette). Dans un premier temps, l'eau de surface s'évapore. La perte d'eau est rapide durant les 2 premiers jours de séchage. Entre 2 et 14 jours, un ralentissement de la perte d'eau est visible sur l'argile et le mélange argile-sable. Ce ralentissement du séchage est lié au chemin de l'eau à travers le cylindre. Cette eau provient du cœur du cylindre et met plus de temps pour atteindre la surface de l'éprouvette. Enfin, l'eau située au cœur du cylindre migre progressivement vers l'extérieur pour s'évaporer au contact de l'air. La stabilisation en masse de l'éprouvette cylindrique est longue. Il faut près de 22 jours pour obtenir une éprouvette stable cela pour les cylindres d'argile et 11 jours pour obtenir une éprouvette stable en raison de la présence d'argile dans les mélanges et de la compression de la matière (**Figures III-11, III-12**).

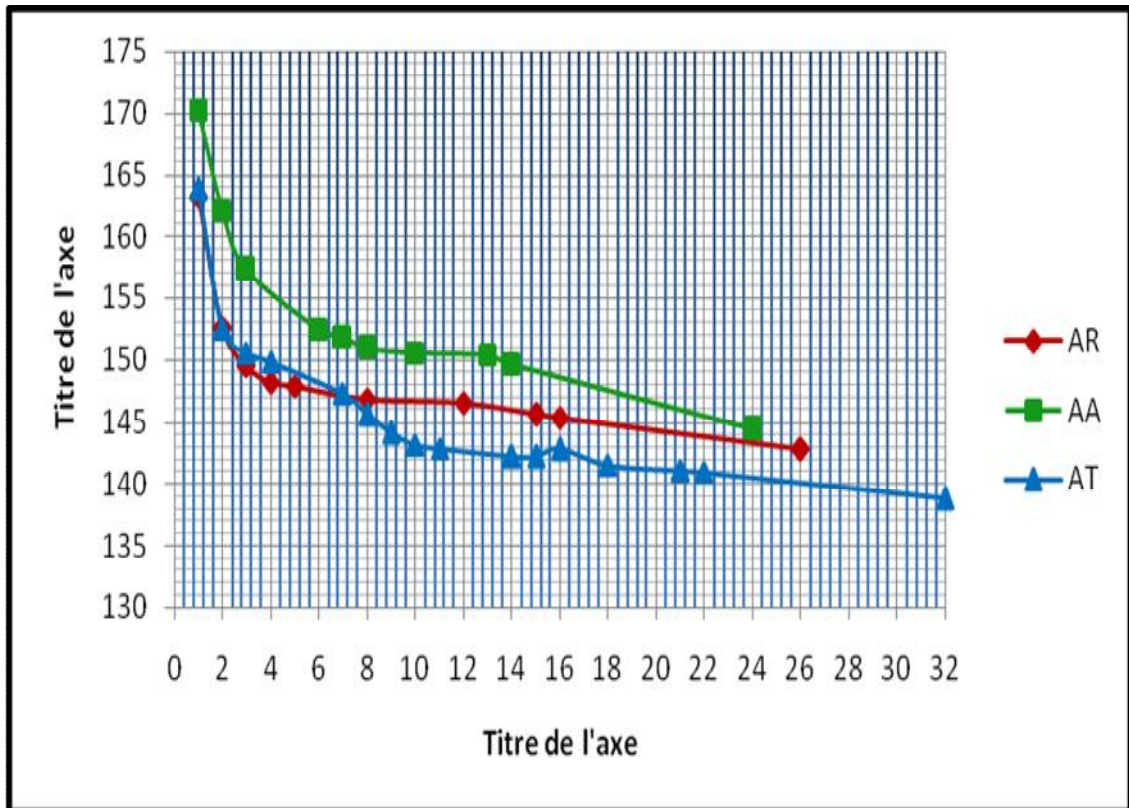


Figure III.11:Variation de la masse en fonction du temps de séchage (Argile 100%).

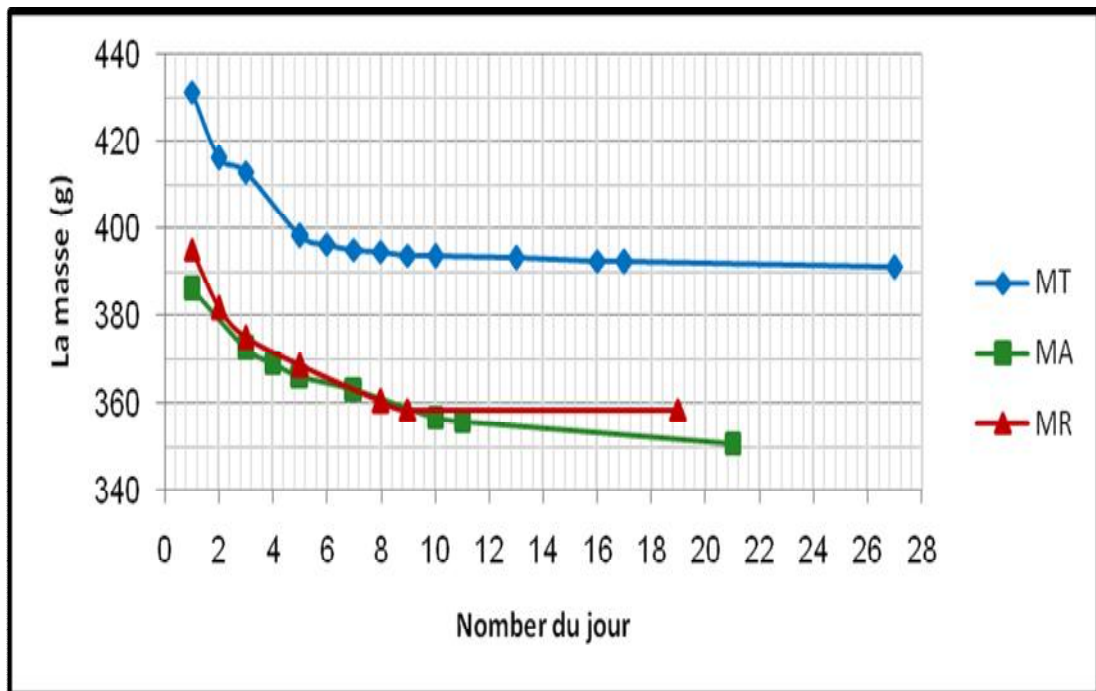


Figure III.12:Variation de la masse en fonction du temps de séchage (Argile-Sable).

IV.2. Cure à l'étuve:

Les éprouvettes cylindriques couverts sont conservés à l'étuve à une température $T = 65 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant des durées différentes 7 jours, 14 jours et 28 jours (Photo III.3). Les éprouvettes concernées par ce mode sont SAC, STC et SRC. Pour étudier l'effet du temps de cure sur les propriétés mécaniques du mélange (Argile + Sable + chaux).



Photo III.3 : Cure à l'étuve des éprouvettes (Argile -Sable-Chaux).

V. Résultats et discussions:

V.1. Propriétés physiques et mécaniques de l'argile 100%:

❖ La teneur en eau optimale et l'énergie de compactage:

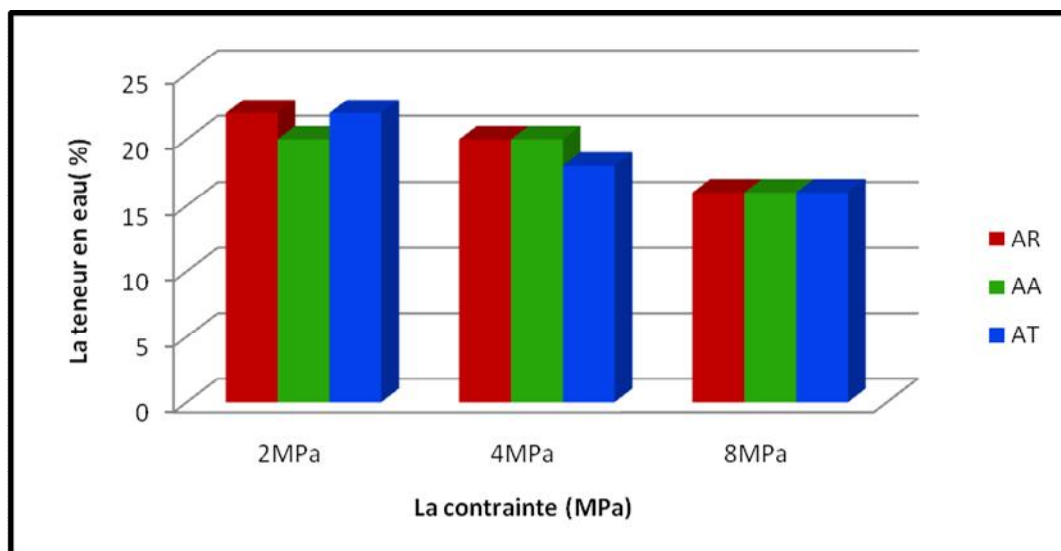


Figure III.13: Variation de la teneur en eau optimale en fonction de l'énergie de compactage.

❖ La densité sèche maximale:

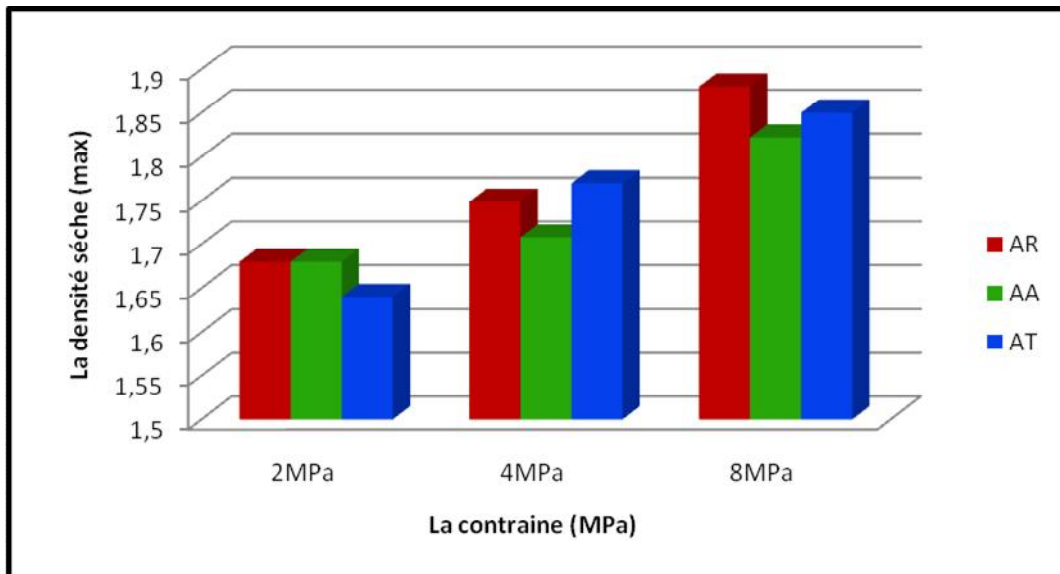


Figure III.14: Variation de la densité sèche maximale en fonction de l'énergie de compactage.

La figure III.13 montre que la teneur en eau optimale du mélange est variée en fonction de l'augmentation de l'énergie de compactage.

En outre, la figure III.14 présente l'évolution de la densité sèche maximale avec l'augmentation de la contrainte de confection.

❖ La résistance à la compression simple:

L'essai de compression simple permet de déterminer la résistance nominale en compression simple des éprouvettes cylindriques d'élançement 2.

La résistance à la compression est donnée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{S}$$

R_c : Résistance à la compression des éprouvettes en (MPa).

F : Charge maximale supportée (N).

S : Surface moyenne des faces d'essai en mm^2 .

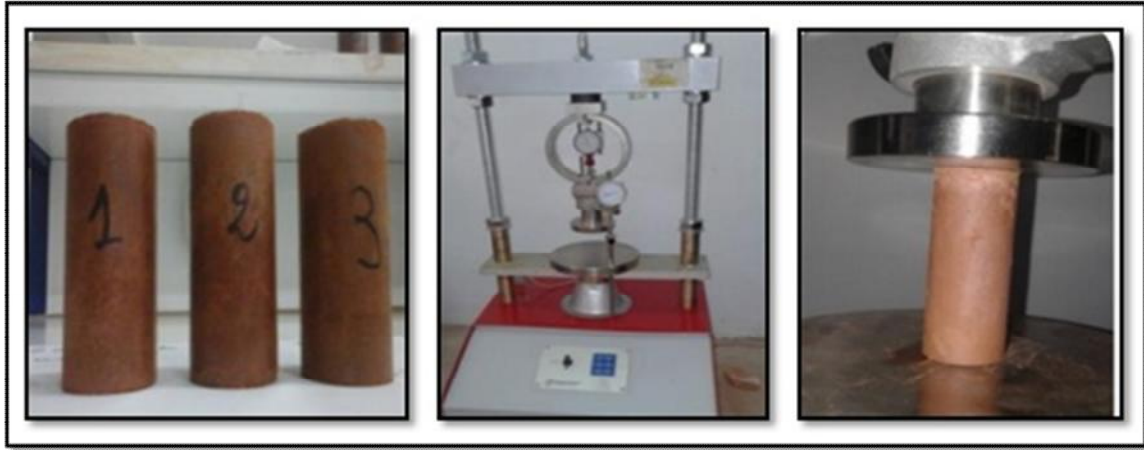


Photo III.4: L'écrasement des éprouvettes

La figure III.15 ci-après présente la variation de la résistance à la compression en fonction des contraintes de confection.

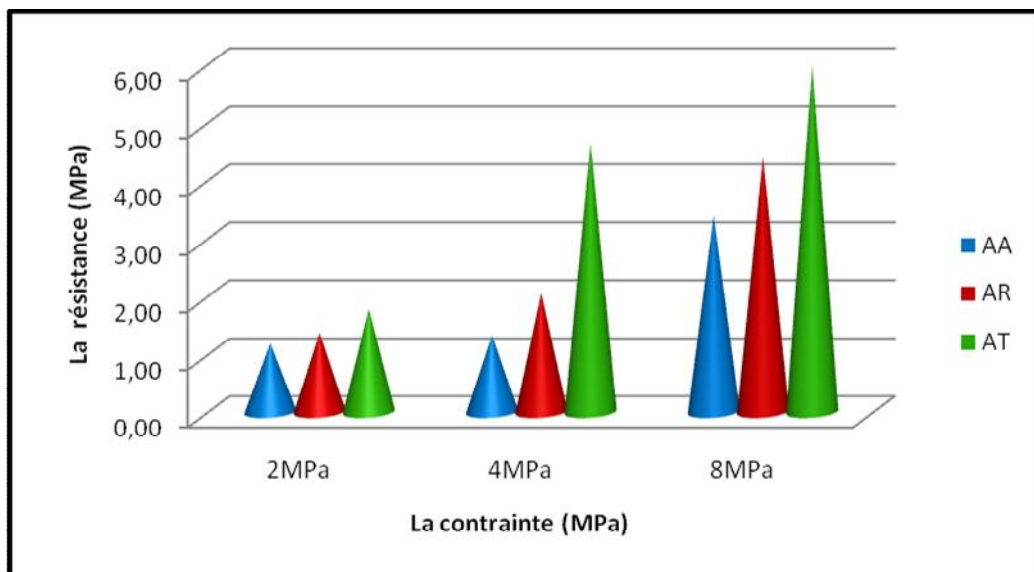


Figure III.15: Variation de la résistance à la compression en fonction des contraintes de confection.

D'après la figure III.16, nous pouvons dire que la résistance augmente avec l'augmentation de la contrainte en compression des éprouvettes cylindriques. Cela pour l'argile des trois régions.

V.2.L'influence de l'ajout du sable concassé sur les propriétés de l'argile:

V.2.1.Propriétés physiques:

A- La teneur en eau optimale:

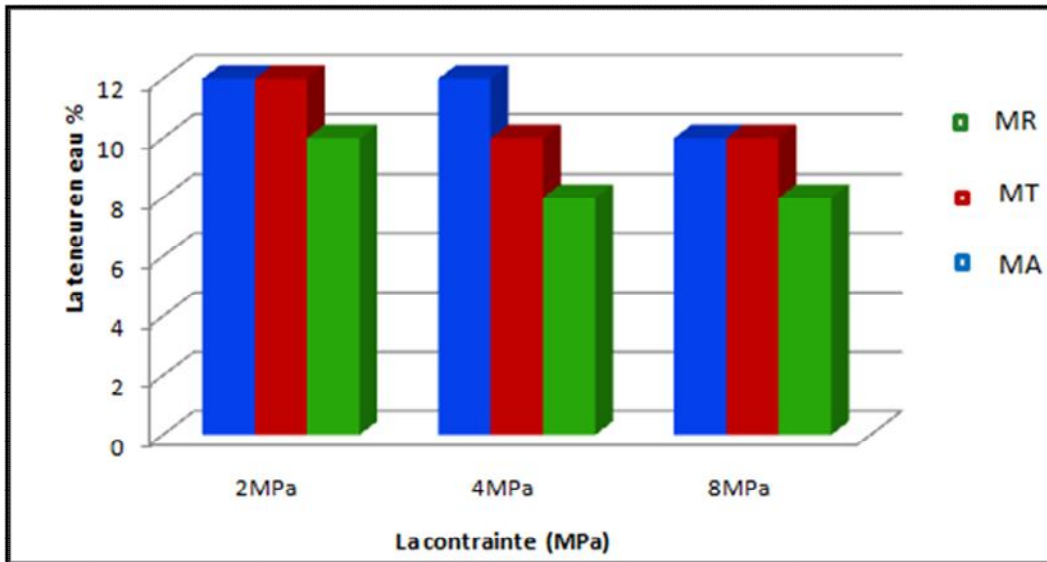


Figure III.16:Variation de la teneur en eau optimale du mélange en fonction de l'énergie de compactage.

B- La densité sèche maximale:

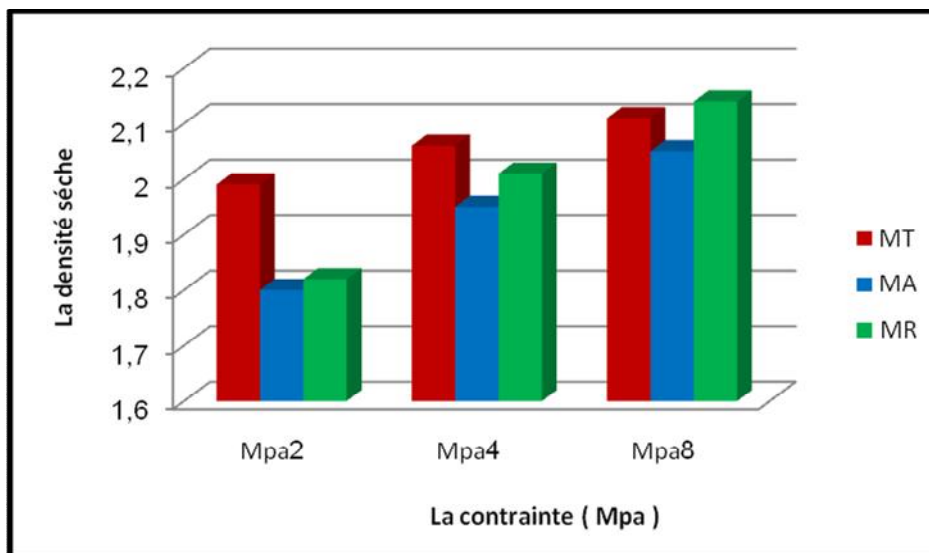


Figure III.17:Variation de la densité sèche maximale en fonction de la contrainte de compactage.

La figure III.17 ci-dessus présente que les densités sèches maximales augmentent avec l'augmentation de la contrainte de confection ($\sigma = 2; 4; 8$ MPa).

Par ailleurs, il y a une amélioration de la densité du mélange argile-sable par rapport à la densité de l'argile 100%. Cela pour les trois argiles étudiées.

V.2.2. Propriété mécanique:

A- La résistance à la compression simple

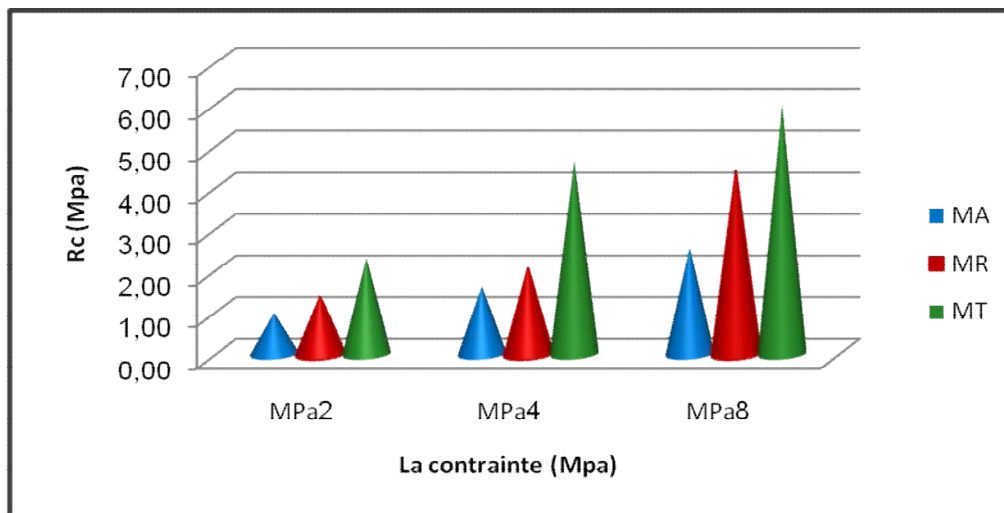


Figure III.18: Variation de la résistance à la compression en fonction de la contrainte de confection.

Suite aux résultats obtenus de la résistance fonction de la contrainte de confection, nous pouvons dire que la résistance RC augmente avec l'augmentation de la contrainte de confection des mélanges.

V.3.L'influence de l'ajout de la chaux sur les propriétés du mélange sable –argile.

V.3.1.Propriétés physiques:

A. La teneur en eau optimale et la densité sèche maximale:

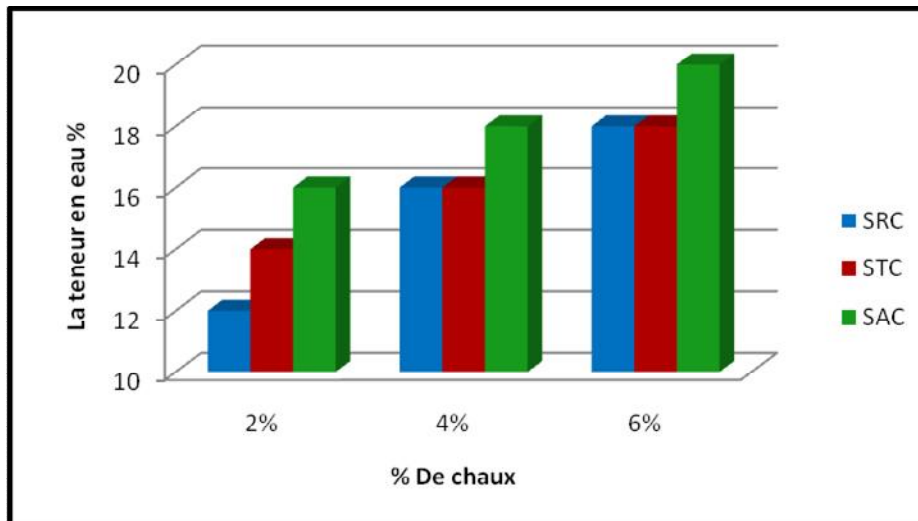


Figure III.19:Variation de la teneur en eau optimale en fonction du dosage de la chaux.

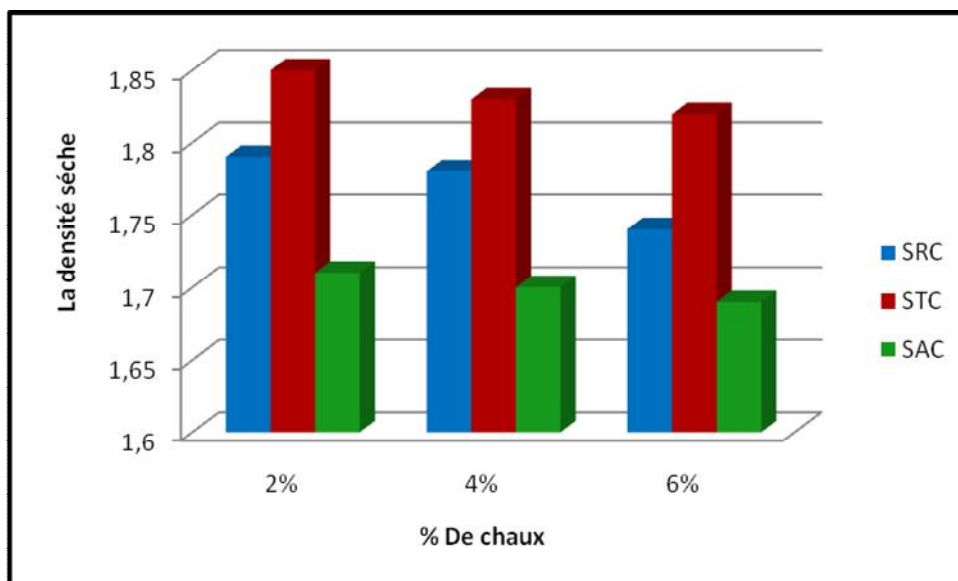


Figure III. 20: Variation de la densité sèche maximale en fonction du dosage de la chaux.

Les figures III.19 et III.20 montrent que l'augmentation de la teneur en eau est fonction de la variation des pourcentages de la chaux et on a observé que la densité sèche maximale est diminuée en fonction de l'augmentation du taux de dosage de la chaux éteinte.

V.3.2: Propriété mécanique :

❖ la résistance à la compression simple:

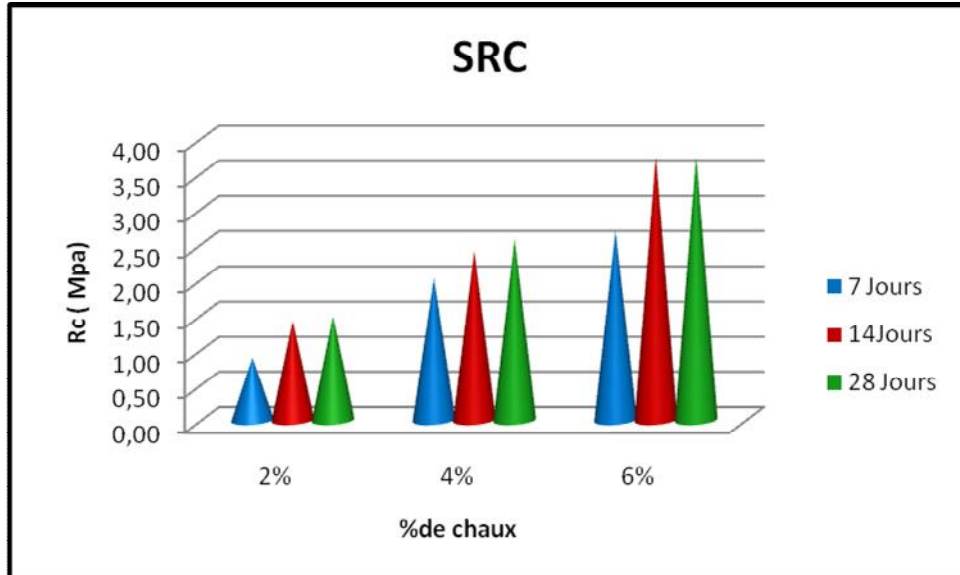


Figure III.21: Variation de la résistance à la compression simple en fonction de l'âge .

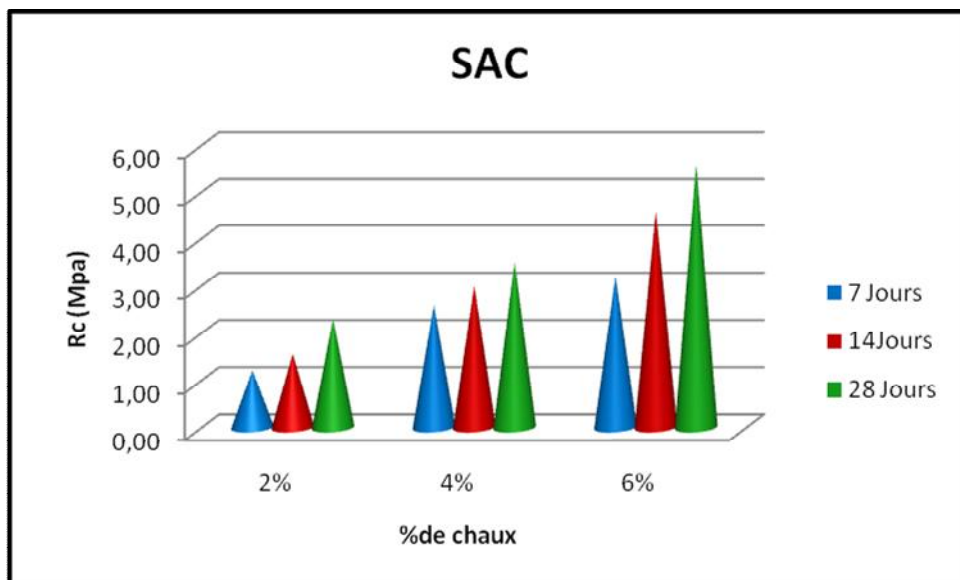


Figure III.22: Variation de la résistance à la compression simple en fonction de l'âge.

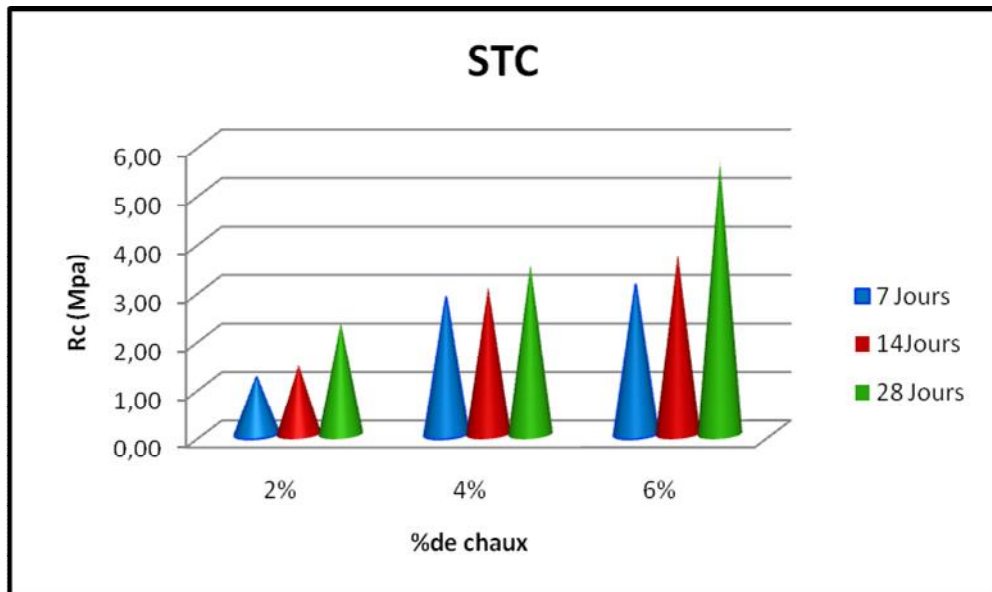


Figure III.23 : Variation de la résistance à la compression simple en fonction de l'âge.

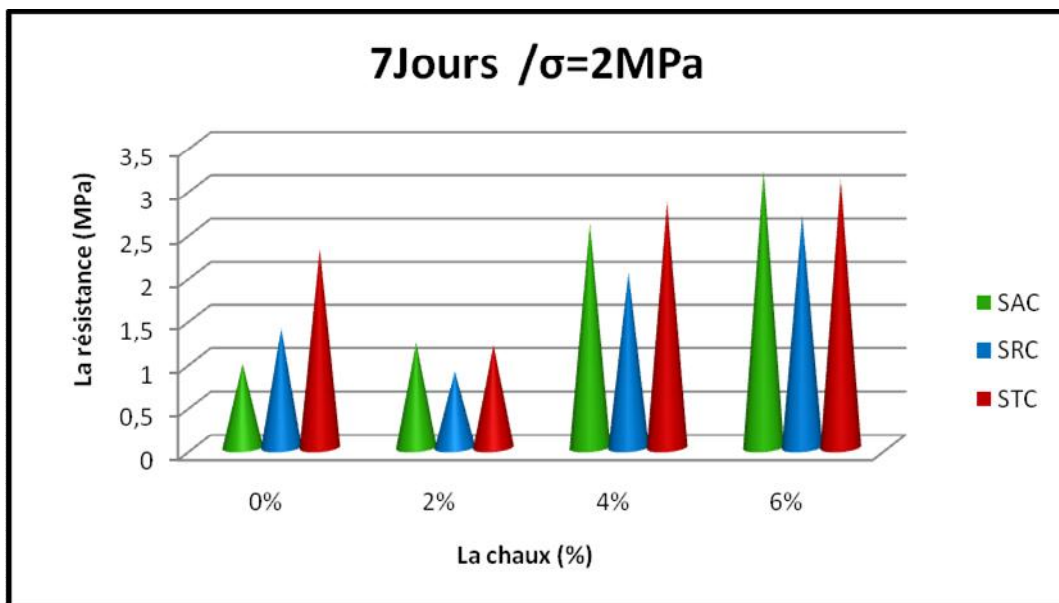


Figure III.24: Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux à 7j.

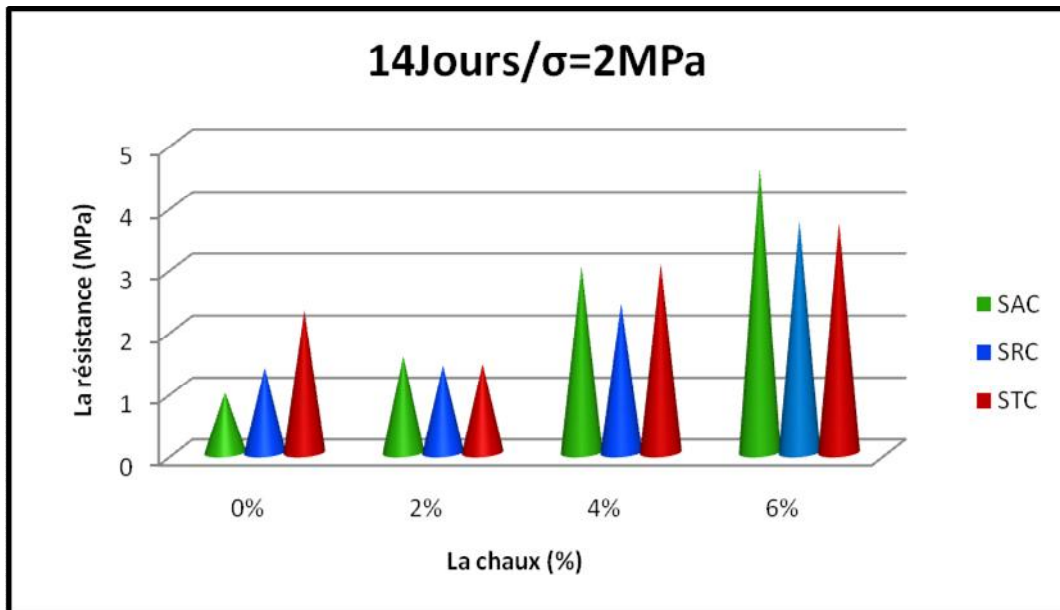


Figure III.25: Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux à 14j.

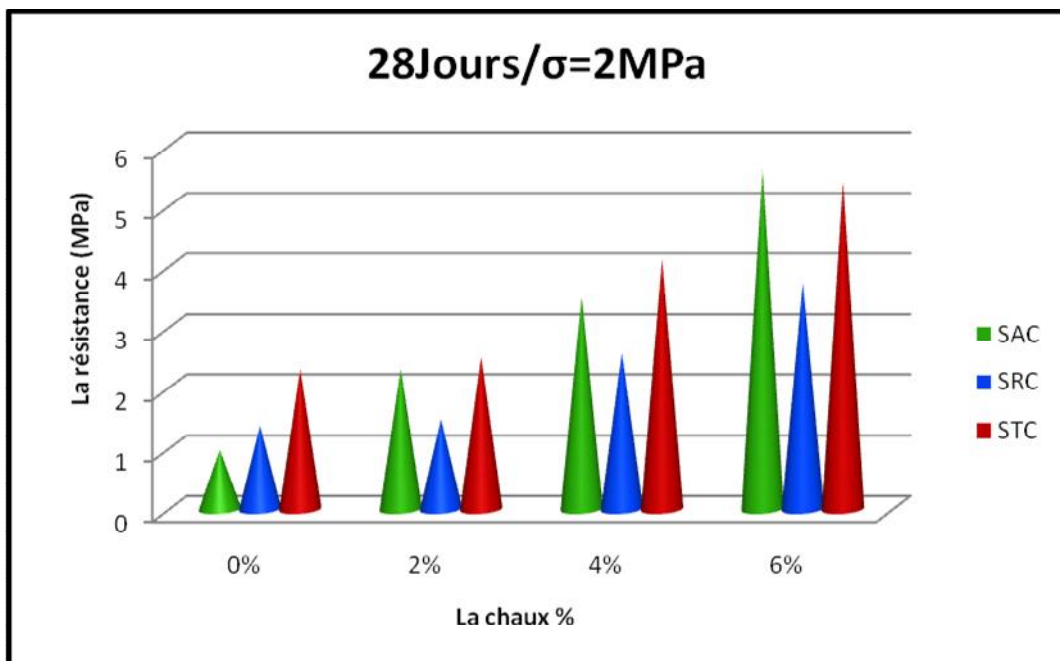


Figure III.26: Variation de la résistance à la compression en fonction du dosage de la chaux à 28j.

Les figures III.21, III.22 et III.23 présentent l'influence d'ajout de la chaux éteinte sur la résistance des mélanges de trois régions Adrar, Timimoun et Reggane.

Les résultats obtenus sont illustrés que le temps de conservation (l'âge) fait une amélioration positive sur la résistance mécanique.

D'après les figures III.24, III.25 et III.26 nous avons remarqué que l'augmentation de la résistance à la compression est fonction de l'augmentation du pourcentage de dosage de la chaux.

Donc on peut dire que l'ajout de la chaux éteinte fait une amélioration de la résistance à la compression simple.

V. Conclusion:

Ce chapitre a permis de présenter les paramètres mécaniques des différentes matières premières qui entrent dans la composition des blocs de terre comprimé et d'avoir l'effet de l'ajout du sable concassé et de la chaux éteinte sur les propriétés physiques et mécaniques comme suivante:

- La densité sèche maximale augmente avec l'augmentation de l'énergie de compactage.
- La teneur en eau optimale augmente avec l'augmentation du taux de dosage de la chaux éteinte.
- La densité sèche diminue avec l'augmentation du taux de dosage de la chaux.
- La résistance à la compression simple est améliorée par l'ajoute de la chaux cela en fonction de l'âge de la conservation.

Conclusion générale

La terre crue est utilisée dans la construction depuis les temps les plus reculés, comme en témoigne l'habitat traditionnel en de nombreux points de notre planète, vu son intérêt économique et sa facilité d'exploitation.

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... etc.

Par rapport à l'histoire de la construction en terre, la technique du bloc de terre comprimée (BTC) est une technique récente, qui est une évolution moderne du bloc de terre moulée, plus communément dénommé bloc d'adobe. Comparé à l'adobe, le BTC est très régulier en formes et en dimensions, plus dense et présente une meilleure résistance à la compression et à l'eau.

Dans le contexte géologique, la région d'Adrar dispose une grande réserve de sédiments de nature argileuse. Ainsi que le sable concassé qui recouvre dans la plus part des régions de la wilaya d'Adrar.

Cette étude a permis d'utiliser des matériaux locaux, et d'identifier les caractéristiques physico-mécanique et chimique de l'argile de la région d'Adrar, Reggane et de Timimoun ayant pour objet de conception des briques comprimées à base de l'argile et le sable concassé.

Les essais de compactage statique effectués sur l'argile au niveau des trois pressions de compactage (2, 4 et 8MPa) ont été présentés. Ils avaient d'abord pour but une présentation des caractéristiques optimales de l'argile, le mélange l'argile-sable et le mélange avec l'ajout de la chaux pour chaque niveau de contrainte et la conception des éprouvettes cylindriques d'élanement égal à 2.

Cette étude a permis de suivre l'évolution des caractéristiques de l'argile, et le mélange (argile-sable) ainsi que le mélange stabilisé compactées statiquement, notamment la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale.

Par ailleurs nous avons étudié la variation de la résistance à la compression du mélange argile avec sable de concassage et le mélange avec ajout de la chaux éteinte. Après analyse des résultats nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

- ✓ L'augmentation de l'énergie de compactage engendre une diminution de la teneur en eau optimale du mélange.
- ✓ La densité sèche augmente avec l'augmentation de la contrainte confection.
- ✓ L'ajout du sable concassé engendre une amélioration sur la densité sèche de l'argile seul.
- ✓ La résistance à la compression est augmentée par l'ajout du sable concassé à l'argile
- ✓ La teneur en eau optimale du mélange augmente avec l'augmentation du taux de dosage de la chaux par contre la densité sèche est diminué par l'ajout de la chaux.
- ✓ La résistance à la compression est augmentée en fonction de l'augmentation du pourcentage de la chaux.

Références Bibliographiques

[1] : BOKOR Youssouf Sakine ,2011," Vérification des caractéristiques des BTC Stabilises avec la chaux " Mémoire de Master ,Institut International En Ingénierie de l'eau et de l'environnement.

[2]: SELMI Hacène ,2012, "Matériaux locaux et développement durable" ,Mémoire de Master, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme.

[3] : SAMOU Djamaa et BENYAHIA Djamaa ,2016, Conception d'une brique comprimée à partir de sable et d'argile de la région d'Adrar (BTS), Mémoire de Master, université d'Adrar.

[4] :CRAterre-ENSAG : Culture constructive et développement durable, la terre. Document PDF, p1, source : WWW.inti.be/ecotopie.

[5]: SALMI Safia ,2014," la construction en pisé entre performances énergétiques et perception des usagers cas du village kabyle Ait Itchir ,Mémoire de Magister, université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

[6] : WESTON Richard : Formes et matériaux dans l'architecture, Ed. du Seuil,2003,p 109.

[7] : RICHARD Philippe Wafer, 2012 " l'adobe une solution durable pour la construction d'habitation écologique dans une zone à forte activité sismique comme le chili " thèse doctorat université Sherbrooke, Québec, Canada.

[8]:Dr: GUETTALA Abdelhamid 2005-2006"bloc de terre comprimée" ouvrage pédagogique université Mohamed Khider Biskra.

[9] : La géologie de la région d'Adrar. Ingénieur Mouri.B. LTPO .Unité de Bechar.

[10] : 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

[11] :HAFSI Khadidja et MEKKI Fatima ,2015"Amélioration des caractéristiques mécaniques des matériaux à la région d'Adrar " Mémoire de master ,Université d'Adrar.

[12] : Bengraa, L. (2004). " Contribution à l'étude de la stabilisation du gonflement par ajout de sable, application aux sols d'Oran " . Mémoire de magistère .U.S.T.Oran, 2004, 102p.

[13]. Gueddouda, M. K. (2004). " Stabilisation des argiles gonflants par ajout du sable de dune, cas : région de Laghouat ". Mémoire de magistère .U.S.T. Oran , 136p.

[14] : MAHAMAT SALEH IBRAHIM YACOUB ,2010,"Etude Comparative Entre L'amélioration Des Briques En Terre Comprimée Stabilisée Par Le Ciment Et La Chaux Eteinte", Mémoire DE Master ,Institut International En Ingénierie de l'eau et de l'environnement.

[15]: Mécanique des Sols avancée – Géotechnique – M1 – S1 (Pr B. Mekerta) – Université d'Adrar-p16.

[16]: TAALLAH. Bachir,2004 "Étude de comportement physique-mécanique de bloc de terre comprimée avec fibre " thèse de doctorat, université Mohamed khider Biskra.

[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

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:

Annexe 1: limite de liquidité W_L

Annexe 2: Les résultats de l'essai Proctor N de l'argile d' Adrar(AA).

Annexe 3: résultats de l'essai de Proctor N de l'argile de Timimoun (AT).

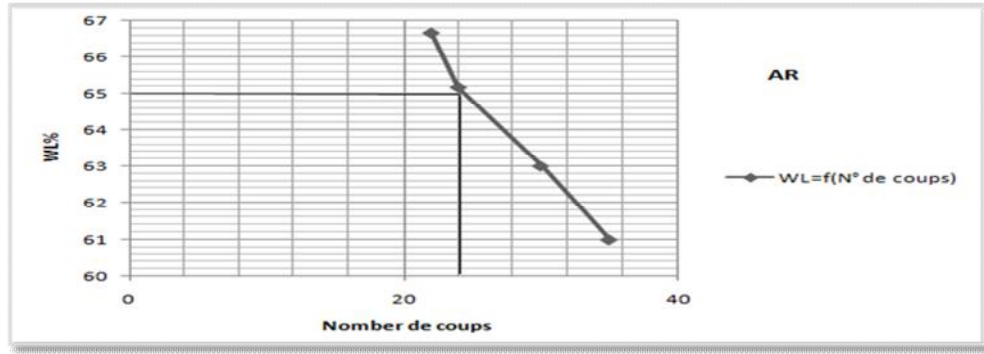
Annexe 4: les résultats de l'essai de Proctor N de l'argile de Reggane (AR).

Annexe 5: L'analyse granulométrique du sable (R) :

- A) La masse volumique apparent (ρ_{app}) :
- B) La masse volumique absolu (ρ_{abs}) :
- C) L'équivalent de sable :
- D) L'analyse granulométrique

ANNEXES

ANNEXE 1: limite de liquidité W_L .



ANNEXE 2: Les résultats de l'essai Proctor N de l'argile d' Adrar(AA).

Teneur en eau (w%)	16	18	20	22	24
$\gamma_d/\gamma_w(\text{g/cm}^3)$	1.28	1.34	1.47	1.36	1.32
)Sr 80% $\gamma_d/\gamma_w(\text{g/cm}^3)$	1.7	1.65	1.58	1.49	1.46
)Sr90% $\gamma_d/\gamma_w(\text{g/cm}^3)$	1.77	1.72	1.65	1.57	1.53
$\gamma_d/\gamma_w(\text{g/cm}^3)$ Sr100%	1.83	1.78	1.71	1.63	1.6

ANNEXE 3: Les résultats de l'essai de Proctor N de l'argile de Timimoun (AT).

Teneur en eau (w%)	18	20	22	24	26
γ_d/γ_w	1.37	1.43	1.50	1.51	1.49
Sr80% γ_d/γ_w	1.62	1.58	1.51	1.46	1.41
Sr 90% γ_d/γ_w	1.69	1.66	1.58	1.53	1.49
γ_d/γ_w Sr100%	1.76	1.72	1.65	1.60	1.56

ANNEXE 4: les résultats de l'essai de Proctor N de l'argile de Reggane (AR).

Teneur en eau (w%)	18	20	22	24	26
γ_d/γ_w	1.42	1.47	1.55	1.53	1.51
γ_d/γ_w Sr 80%	1.66	1.60	1.54	1.48	1.43
90% γ_d/γ_w Sr	1.74	1.67	1.61	1.56	1.50
γ_d/γ_w Sr100%	1.80	1.74	1.68	1.62	1.57

ANNEXES

ANNEXE 5: Le Sable de carrière (R) :

A) La masse volumique apparente (ρ_{app}) :

$$\rho_{app} = \frac{M_p - M_v}{V}$$

M_p : masse de récipient plein (g)

M_v : masse de récipient vide (g)

V : volume de récipient (cm^3)

	1	2	3
$M_p(\text{g})$	3506.8	3507.5	3502.8
$V(\text{cm}^3)$	103	103	103
$\rho_{app}(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.59	1.59	1.58
$\rho_{app\text{ moy}}(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.589g/cm ³		

B) La masse volumique absolu (ρ_{abs}) :

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

M : masse de l'échantillon $M=300\text{g}$

V_1 : le volume d'eau , $V_1= 500\text{ml}$

	1	2	3
V_1	500	500	500
V_2	610	615	615
ρ_{abs}	2.7	2.6	2.6
$\rho_{abs\text{ moy}}$	2.64g/cm ³		

ANNEXES

C) Equivalent de sable :

$$Esv = \frac{h_2}{h_1} \cdot 100$$

$$Esp = \frac{h'_2}{h_1} \cdot 100$$

h 1 : hauteur de sable avec les fins.

h 2 : hauteur de sable visuel.

h'2 : hauteur de sable avec piston.

	1	2	3
h 1 (cm)	11.6	12.2	12.2
h 2 (cm)	8.1	8.5	8.3
h'2(cm)	7.74	7.4	7.4
Esv%	69.83	69.67	68.03
Esv moy	69.18		
Esp%	66.81	60.65	60.65
Esp moy	62.70		

D) L'analyse granulométrique du sable (R) :

M=1000g

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$M_f = \sum Rc\% [4 ; 5, 1.25 ; 0.630 ; 0.315] \rightarrow M_f = 1.97$

$Rc\% = Rc(g) / M$

$Tc\% = 100 - Rc\%$

Tamis(mm)	Rc(g)	Rp(g)	Tc(g)	Rc%	Tc%
5	0	0	1000	0	100
4	30.4	30.4	969.6	3.04	96.96
2.5	212.2	181.8	787.8	21.22	78.78
2	294.9	82.7	705.1	29.49	70.51
1.6	355.7	60.8	644.3	35.57	64.43
1.25	454.0	98.3	546	45.40	54.6
0.630	643.5	189.5	356.5	64.35	35.65
0.315	840.5	197	159.5	84.05	15.96
0.200	951.5	111	48.5	95.15	4.85
0.160	970.4	18.9	29.6	97.04	2.96