République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draia d'Adrar
Faculté Des Sciences et de la Technologies
Département Des Sciences de Technologie

Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

Master en Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Présenté Par :

Melle ALI MOHRI Imane

Melle BAARBI Karima

THEME

Caractérisation et valorisation des argiles de la wilaya d'Adrar en vue de leur utilisation dans l'industrie des matériaux de construction en terre cuite

Soutenu **Le 20/06/2018** Devant un membre de jury composé de :

Mr. ABDELDJALIL M'hammed	Univ. Adrar	**Président**
Pr. KHELAFI Hamid	Univ. Adrar	**Examinateur**
Mr. ABBOU Mohammed	Univ. Adrar	**Encadreur**

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

Nous remercions le bon dieu qui nous a donné le courage et la patience Jusqu'au bout de nos études.

Nous dressons nos plus vifs remerciements à nos parents qui ont sacrifiés leur vie pour notre bien.

*Nous remercions aussi notre encadreur : Mr « **ABBOU Mohammed** » 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 : **ABDELDJALIL M'HAMMED** qui on a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*Pr : **KHELAFI Hamid** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous remercions pareillement **Mr SEMCHA Abdelaziz** et **BOUAFIA Bafdil***

Merci aussi aux ingénieurs de laboratoire de l'université d'Adrar Et les ingénieurs du LTPO Pour leurs soutiens et leurs aides.

*Merci aussi à nous collègues : **KASRAOUI Salem** et **NOUARI Mohamed charif.***

Enfin, mes sincères reconnaissances et gratitudes à tous les enseignants du Génie Civil de l'université d'Adrar.

Nous remercions aussi tous ceux qui ont participés de prés ou de loin à l'établissement de ce travail.

Karima et Imane

Dédicace

Je veux d'abord et avant tout à remercier très cher Personnes que Dieu prolonger ans, pour me permettre d'arriver à ce stade de mes études.

Je dédie ce modeste travail:

À ma très chère mère : Mme ***ALI MOHRI***

À mon très cher père : Mr ***ALI MOHRI***

À mes chère frères : ***Abdeldjalil*** *et* ***Abdessamed***

À mon binôme : ***BAARBI Karima***

À tous mes amis.

ALI MOHRI Imane

Dédicace

Je veux d'abord et avant tout à remercier très cher Personnes que Dieu prolonger ans, pour me permettre d'arriver à ce stade de mes études.

Je dédie ce modeste travail:

À ma très chère mère : Mme ***BAARBI***

À mon très cher père : Mr ***BAARBI***

À mes chère frères : ***Fatima,Ftima, Zahia, Mohammed, Sabah, Abdelhamid.***

À mon binôme : ***ALI MOHRI Imane***

À tous mes amis et tout la famille.

BAARBI Karima

Résumé :

Dans le cadre du développement local durable, de la région de la wilay d'Adrar, l'une des plus vastes régions dans le Sahara algérien. La recherche de substances utiles locales a été entamée par l'état algérien, cela pour recouvre le besoin en matériaux de construction dans le BTP. Cependant du point de vue géologique, la zone d'Adrar est située dans le prolongement de la chaine primaire de l'Ougarta qui sépare deux bassins sédimentaires Réggane et Timimoun à faciès marins et continentaux.

Dans ce contexte, une étude expérimentale est focalisée sur la caractérisation des gisements argileux de trois régions Adrar, Timimoun et Reggane, en vue de leur valorisation dans le secteur de l'industrie des matériaux de construction en terre cuite, ayant pour objet de contribuer à l'utilisation des matériaux locaux.

Les matériaux argileux étudies sont généralement constitues de fines particules d'argiles avec une plasticité moyenne à forte, La masse volumique apparente est peu variables pour toutes les argiles.

La fraction argileuse des échantillons d'Adrar, Timimoun et Reggane est dominée par l'illite et la kaolinite. Ces deux types de minéraux argileux sont responsables en grande partie des propriétés céramiques favorables des échantillons d'argiles étudiées.

Les argiles de Timimoun, Adrar et Reggane montrent globalement un bon comportement au séchage.

Les argiles étudiées montrent des propriétés conformes avec les critères de production des

Briques. Néanmoins, quelques produits cuits ont présenté un retrait à la cuisson supérieur à 10% pour de températures allant de 750 à 850°C. Ces retraits peuvent être minimises par l'ajout d'une quantité optimale de dégraissant ou en faisant des mélanges et/ ou des formulations avec d'autres argiles proche géographiquement afin d'obtenir un mélange adéquat.

Mots Clés : *Argile, terre cuite, Matériau de construction, Développement.*

Table des matières

Remerciement I
Dédicace II
Résumé IV
Tables des matières V
Liste des tableaux VIII
Liste des figures IX
Abréviations et symboles XI
Introduction Générales 1

Chapitre I : Synthèse **B**ibliographique.

I. Introduction 3
II. Géologie de la région d'Adrar 3
III. Généralités sur les argiles 5
III.1 Définition 6
III.2 Minéralogie des argiles 6
III.3 Principe de Structures 8
III.4 Les types d'argiles 8
III.5 L'Eau dans les argiles 11
III.6 Domaines d'études des argiles 12
III.7 Propriétés des argiles 13
III.8 Éléments dégraissants 13
IV. Généralité sur La terre cuite 14
IV.1 Définition 15
IV.2 Mode de fabrication 16
IV.2.1 Méthode traditionnelle 16
IV.2.2 Méthode moderne 17
IV.2.2.a L'extraction 17
IV.2.2.b Préparation d'argile 18
IV.2.2.c Façonnage 19
IV.2.2.d Séchage 20
IV.2.2.e Cuisson 21
IV.2.2.e.1 Les étapes de cuisson 23
IV.3 Types de brique en terre cuite 24
IV.4 Propriété et caractéristique des briques de terre cuite 26
IV.5 Les usages de la brique en terre cuite 28
IV.6 Les avantages de brique en terre cuite 28
IV.7 Les inconvénients de brique en terre cuite 29
V. Conclusion 29

Chapitre II : Analyses et **C**aractéristiques.

I. Introduction 31
II. Situation géographique de la région d'Adrar 31
III. Localisation des gisements 32
III.1 L'argile 32
III.2 Sable de dune 33
IV. Identification des matériaux utilisés 34
IV.1 Le sable de dune 34
IV.1.1 Les propriétés physiques 34
IV.1.1.a La masse volumique apparente (NF-P 18-554) 34
IV.1.1.b La masse volumique absolue (P18-555) 35
IV.1.1.c L'analyse granulométrique (NF-P 18-560) 36
IV.1.1.d Le module de finesse (NF-P 18 304) 38
IV.1.1.e L'équivalent de sable (NF-P 18 598) 39
IV.2 L'argile 40
IV.2.1 Les caractéristiques géotechniques 41
IV.2.1.a L'analyse granulométrique par la méthode de sédimentation (NF-P94-057) 41
IV.2.1.b Le poids spécifique des grains solide (NF-P 94 054) 44
IV.2.1.c Les limites d'Atterberg (NF-P 94 051) 45
IV.2.1.d La limite de retrait (NF-P94 060-1) 52
IV.2.1.e L'essai de bleu méthylène (NF-P94 068) 53
IV.2.1.f Le teneur en carbonate de calcium CaCO3 (NF P94-051) 55
IV.3 L'essai de l'analyse chimique de l'eau de gâchage 57
V. Conclusion 57

Chapitre III : Etude **E**xpérimentale

I. Introduction 59
II. Méthodologie d'étude 60
III. Préparation des éprouvettes 61
III.1 Extraction des argiles 61
III.2 Préparation de la pâte 62
III.3 Façonnage 62
III.4 Séchage 63
III.5 Cuisson 64
IV. Résultats et discussion 65
IV.1 Propriété de façonnage et de séchage 65
IV. 1.1 La teneur en eau et le séchage des éprouvettes 65
IV.1.2 La masse volumique (NA 5022) 66
IV.1.3 Le retrait 66
IV.1.4 La résistance à la compression 67
IV.2 Propriétés de cuisson à 750°C et 850°C 68
IV.2.1 La masse volumique 68
IV.2.2 Le retrait 70
IV.2.3 La résistance à la compression 72
IV.2.4 L'absorption d'eau 75

V. Conclusion 79
Références Bibliographiques……..XII
La liste des Normes XIV
Annexes..... XV

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Différents caractéristique liées à la minéralogie de l'argile 7
Tableau I.2: Différents types d'eaux dans les argiles 12
Tableau I.3 : Propriété des briques pleine et perforés 27
Tableau I.4 : Propriété des briques creuses 27
Tableau I.5 : Les résistances thermiques de brique pleines, perforées et Creuses 27

Chapitre II

Tableau II.1 : Les valeurs de la masse volumique apparente de sable analysés 35
Tableau II.2: Les résultats de la masse volumique absolue de sable analysés 36
Tableau II .3 : Les valeurs des Cc et Cu 37
Tableau II. 4: Les valeurs de module de finesse 38
Tableau II.5 : Les résultats d'équivalent de sable 40
Tableau II.6: Granularité de l'argile étudiée 43
Tableau II.7: Poids spécifiques des différents sols étudiés 45
Tableau II. 8:Les valeurs de limite de liquidité sols étudiés 47
Tableau II.9 : Les valeurs de limite plasticité sols étudiés 47
Tableau II.10 : Les valeurs de l'indice de plasticité 48
Tableau II.11:L'activité des sols étudiés 51
Tableau II.12 : la valeur de la limite de retrait des sols étudiés 52
Tableau II .13 : Les valeurs de l'indice de retrait 53
Tableau II. 14:Les valeurs de VBS et SST 55
Tableau II.15 : Valeurs de la teneur en carbonate de calcium 57
Tableau II.16:Composition chimique de l'eau de gâchage utilisé 57

Chapitre III

Tableau III. 1 : Résultats de la teneur en eau de la pâte 65
Tableau III. 2 : Masse volumique apparente après séchage 66
Tableau III.3 : Retrait après séchage 67
Tableau III. 4 : Résultats de la résistance à la compression 68
Tableau III. 5 : Résultats de la masse volumique apparente après la cuisson 70
Tableau III. 6 : Résultats du retrait après la cuisson 71
Tableau III.7 : Résultats de la résistance à la compression 75
Tableau III.8 : Résultats d'absorption des argiles étudiées 76
Tableau III.9 : Les valeurs recommandées 79

Liste des Figures

Chapitre I

Figure II.1 : Cadre géologie de l'Algérie(Adrar) 4
Figure I.2 : L'argile 5
Figure I.3: Types de feuillets 6
Figure I.4 : Feuillet siliceux (SiO_2) 8
Figure I.5 : Feuillet alumineux ($Al(OH)_3$) 8
Figure I.6: Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite 9
Figure I.7 : Vue isométrique de la structure atomique de l'illite 10
Figure I.8 : Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite 10
Figure I.9 : Vue isométrique de la structure atomique des chlorites 11
Figure I.10: Domaines d'études des argiles 13
Figure I.11: Poteries 14
Figure I.13: Brique 14
Figure I.14: Tuiles 14
Figure I.15: Carreaux 14
Figure I.16: Brique de terre cuite 15
Figure I.17: Fourre traditionnel 15
Figure I.18: Extraction d'argile 16
Figure I.19: Broyage et malaxage de l'argile 18
Figure I.20: Façonnage de brique en terre cuite *18*
Figure I.21 : Séchage des briques de terre cuite 20
Figure I.22: Etapes de cuisson 20
Figure I.23 : La cuisson de brique de terre cuite 21
Figure I.25:Fabrication de produits de terre cuite 21
Figure I .26: Brique pleines 25
Figure I.27:Briques perforées 25
Figure I.28: Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale 26
Figure I.29 : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G 27

Chapitre II

Figure II.1: Situation géographique de la région d'Adrar 32
Figure II.2 : Localisation des gisements des matériaux étudiés 34
Figure II.3:Déterminer de la masse volumique apparente 35
Figure II.5: Courbes granulométrique des sables étudiés 37
Figure II.4 : Classification de sable selon MF 39
Figure II.6 :L'essai d'équivalant de sable 40
Figure II.7 : Analysé granulométrique par sédimentation 41
Figure II.8 : Courbes granulométrique des argiles étudiés 42
Figure II.9: Classification triangulaire des sols 43
Figure II.10:Détermination du poids spécifique 44
Figure II.11: Diagramme des valeurs de Gs pour différents types de sols à 20°C 45

Figure II.12: Etats d'un sol en fonction de sa teneur en eau 46
Figure II.13 : Détermination de la limite de liquidité WL 46
Figure II.14 : Détermination de la limite de plasticité 47
Figure II.15: Classification des sols étudiés sur le diagramme de Casagrande 49
Figure II.16: Classification des argiles selon d'Atterberg(1973) 50
Figure II.17: La position des minéraux argileux les plus connus sur le diagramme de Casagrande 50
Figure II.18 : Classe activité des argiles (Skempton , 1953) 51
Figure II.19: Essai limite de retrait 52
Figure II.20: Essai de bleu de méthylène 54
Figure II.21:Résultat de l'essai de bleu de méthylène 54
Figure II.22: Classification des sols d'après Philipponat 55
Figure II.23 : Diagramme Teneur en CaCO3 de quelques sols 56
Figure II.24: Appareille de Calcimètre Dietrich – Fruhling 56

Chapitre III

Figure III.1 : Méthodologie d'étude 60
Figure III.2 : Site d'extraction d'argiles 61
Figure III.3 : Les étapes de préparation 62
Figure III.4 : Façonnage 63
Figure III.5 : Séchage à l'air liber 63
Figure III.6 : Séchage à l'étuve 63
Figure III.7 : Cuisson des éprouvettes d'argiles 64
Figure III.8 : Eprouvettes après la cuisson 65
Figure III. 9 : Essai de la résistance à la compression 68
Figure III. 10 : Masse volumique des éprouvettes après cuisson à 750°C 69
Figure III. 11 : Masse volumique des éprouvettes après cuisson à 850°C 69
Figure III.12 : Retrait des éprouvettes après cuisson à 750°C 71
Figure III.13 : Retrait des éprouvettes après cuisson à 850°C 72
Figure III.14 : Essai d'écrasement des éprouvettes 72
Figure III.15 : Résistance à la compression des éprouvettes d'argile A 73
Figure III.16 : Résistance à la compression des éprouvettes d'argile A1 73
Figure III.17 : Résistance à la compression des éprouvettes d'argile A2 74
Figure III.18 : Résistance à la compression des éprouvettes A3 74
Figure III. 19 : Essai d'absorption. 76
Figure III. 20: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A 77
Figure III. 21: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A1) 77
Figure III. 22: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A2) 78
Figure III. 23: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A3) 78

Abréviations et symboles

SD1 : Sable dune d'Adrar.

SD2 : Sable dune d'Timimoun.

SD3: Sable dune d'Reggan.

A: Argile d'Adrar.

A1: Argile de Sidi Youcef.

A2: Argile de Timimoun.

A3: Argile de Reggan.

NF : Norme France.

ρ_{app} : Masse volumique apparente.

ρ_{abs} : Masse volumique absolue.

Cu : Coefficient d'uniformité.

Cc : Coefficient de courbure.

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

U.S.C.S: The Unified Soil Classification System.

Rc : Refus cumulés.

Tc : Tamisât cumulés.

D : Diamètre.

M_f **:** Module de finesse.

ES: Equivalent de sable.

ES_v**:** Equivalent de sable visuel.

ES_p **:** Equivalent de sable piston.

γ_s **:** Poids spécifique des grains solide.

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

A_C : Activité.

SST : Surface spécifique totale.

VB : Valeur du bleu de méthylène.

Introduction générale :

Durant ces dernières années le développement de la construction des logements au Sud Algérien, telle que la région d'Adrar l'une des plus vastes régions dans le Sud algérien a engendré un besoin énorme en matériaux de construction conventionnels. Des efforts ont été orientés vers le développement de nouvelles méthodes de construction en utilisant des matériaux locaux afin d'apporter une réponse adéquate à cette crise [17].

Par ailleurs géologiquement la wilaya d'Adrar est située dans la plateforme saharienne, devant ce contexte géologie la zone d'Adrar dispose une richesse minière telle que les formations argileuses ainsi que le sable de dune.

Cependant, le matériau de terre cuite est utilisé depuis des siècles comme matériaux de construction cela dans plusieurs produits tels que les briques, les tuiles et les carreaux…etc. Néanmoins la matière première naturelle constituer la terre cuite c'est l'argile.

Nous avons structuré notre mémoire comme suivant :

Le premier chapitre exposera des généralités sur la fabrication de brique de terre cuite, ainsi que la matière première de fabrication des produits en terre cuite.

Le deuxième chapitre est consacré pour les essais d'identification des matériaux étudiés.

Une étude d'identification des caractéristiques céramique (terre cuite) des briquettes à deux différentes températures de cuisson à 750°C et à 850°C est présentée au troisième chapitre.

Chapitre I

I. Introduction :

La grande majorité des matériaux produits par l'industrie céramique est consommée dans le bâtiment et l'habitat. Les matériaux de terre cuite sont utilisés dans le bâtiment depuis des siècles et ceci, dans tous les pays du monde. De nombreux objets et usages peuvent être recensés. Les briques et tuiles constituent les objets les plus couramment employés. Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs [1].

Par ailleurs les matériaux de terre cuite sont des matériaux préparés à partir de matières premières naturelles dont le constituant principal est l'argile.

Le présent chapitre regroupe un aperçu général de la formation géologique de la région d'Adrar, puis des généralités sur les différentes familles d'argiles et leurs propriétés.

Finalement nous avons présenté des généralités sur la terre cuite et les différents processus de fabrication avec les avantages et les inconvénients ainsi que les propriétés physico-mécaniques et thermique d'une brique de terre cuite.

II. 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 [2][3].

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 [2][3].

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 [2][3] (Figure II.1).

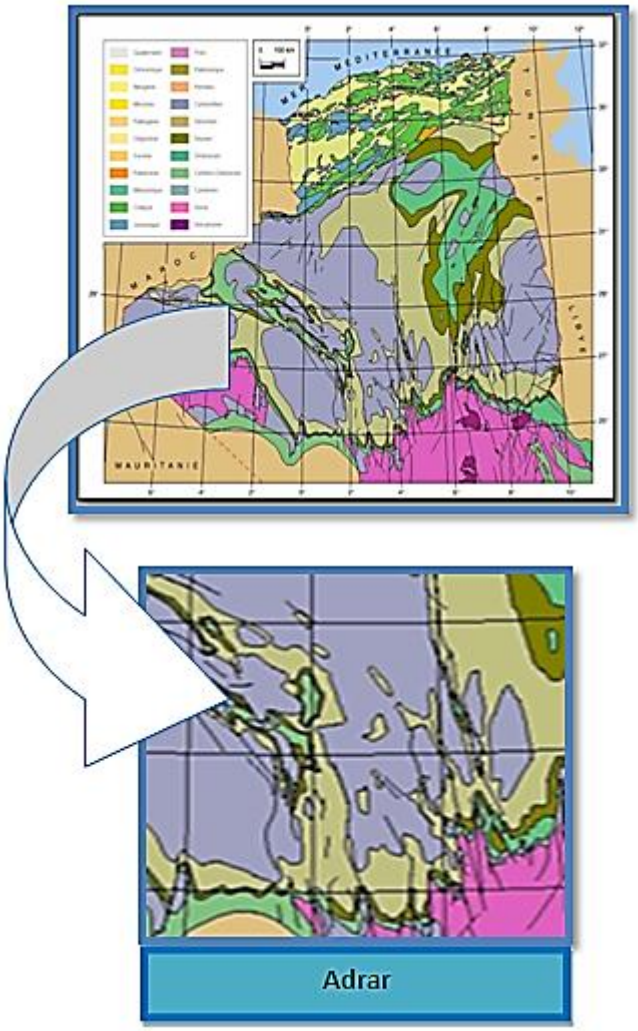


Figure I.1 : Cadre géologie de la wilaya d'Adrar [4].

III. Généralités sur les argiles :

Historiquement, en géologie et science du sol, le terme argile correspond à l'ensemble des minéraux présentant une taille inférieure à 2 µm dans une roche. Cette coupure granulométrique invisible à l'œil est héritée des études pétrographiques effectuées par microscopie optique à la fin du XIXe siècle. Les cristaux présentant alors une taille inférieure à 2 µm n'étaient pas reconnaissables et classés sous l'appellation argile. Aujourd'hui, l'appellation argile diffère en fonction des domaines d'étude. Ainsi, en géotechnique, où l'on s'intéresse avant tout au comportement mécanique des sols, on désigne par argile les matériaux de granulométrie inférieure à 4 µm (entre 4 et 50 µm, on parle de limon). En science des argiles, l'argile ne correspond pas à une coupure granulométrique, mais à des minéraux. Le terme est alors utilisé pour décrire les phyllosilicates et plus particulièrement les minéraux argileux. [5]

Le terme argile vient du mot grec « argiles », 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. 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. [6]

Figure. I.2 : Les argiles

III.1. Définition :

Les argiles sont des silicates d'alumine hydratés ou phyllo silicates.

Minéraux cristallisée basés sur l'empilement de deux types de feuillets (figure I.3) :

- Feuillets siliceux (silice SiO2) : Couche de tétraèdres de silice
- Feuillets hydro-alumineux (Al(OH)3 : Couche d'octaèdres d'alumine hydratée. [7]

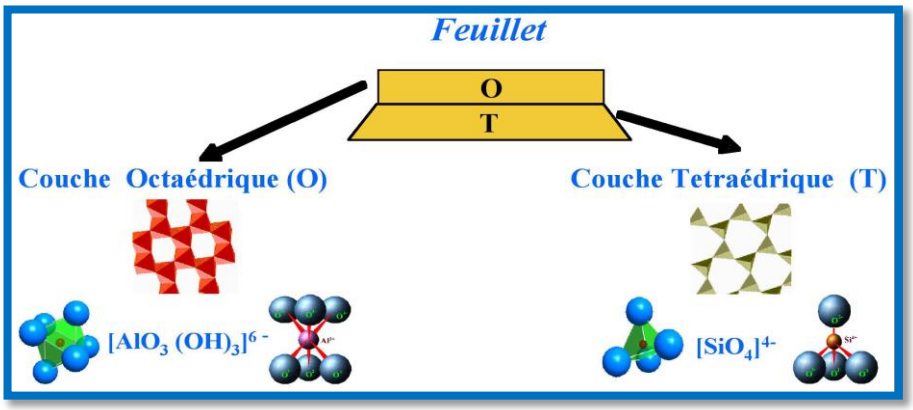


Figure. I.3 : Types de feuillets [7]

III.2. Minéralogie des argiles :

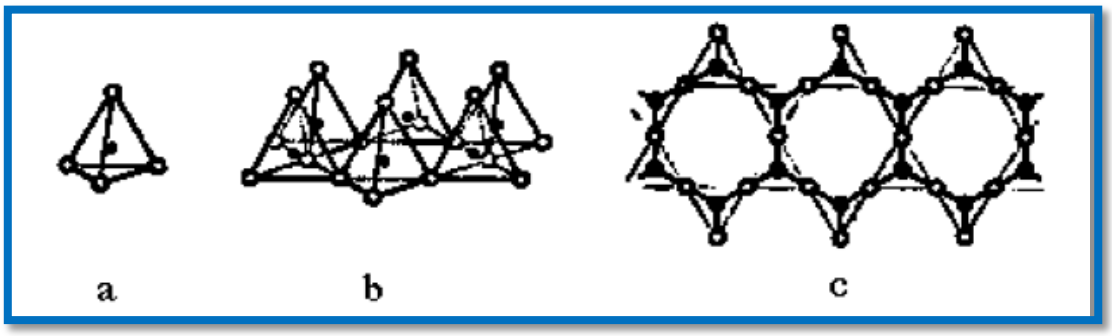
Les minéraux argileux sont tous constitués à partir d'un empilement de feuillets tétraédriques et octaédriques entrecoupé par un espace appelé espace interfoliaire. Et il est aussi de très petites particules très actives sur le plan électrochimique. Lorsque le pourcentage d'argile augmente, l'influence de la portion argileuse sur le comportement global du sol augmente proportionnellement. [5]

Tableau. I.1 : Différentes caractéristiques liées à la minéralogie de l'argile [8]

Minéral	Plasticité, cohésion, susceptibilité aux feuilletages	Difficulté de séchage	Cuisson
Kaolinite	Augmente la plasticité	Difficulté limitée	Rend plus réfractaire, élargit la zone de vitrification
Lllite	Apporte une bonne plasticité	Difficulté moyenne	Agit comme flux* graissant/fondant
Smectite Montmorillonite	Apporte une très grande plasticité et grande cohésion	Grande difficulté (retrait important et rétention capillaire)	Améliore la compacité
Mica (muscovite, séricine...)	Réduit la plasticité, favorise les feuilletages, effet dégraissant	Limitée	Peut baisser la température de grésage
Quartz	Réduis la plasticité et la cohésion, effet dégraissant, favorise les feuilletages	Limitée	Rend plus réfractaire, apporte sensibilité au refroidissement (fêle au point quartz)
Feldspath	Réduis la plasticité, effet dégraissant	Limitée	Agit comme un flux* grésant au-dessus de 1000°C
Carbonates	Effet dégraissant	Limitée	Action sur la couleur, rend plus étroit le palier de fusion, augmente la porosité
Oxyde de fer	Limitée	Limitée	Action sur la couleur, agit comme flux graissant

III.3. Principe de Structure :

Un feuillet siliceux (SiO_2)

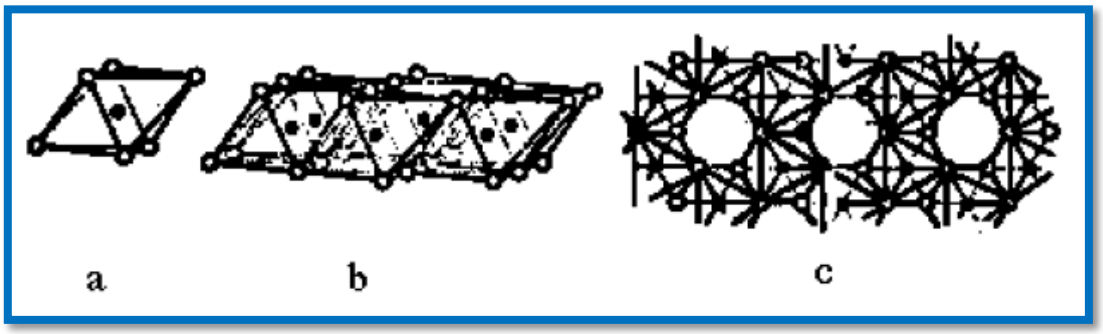


a ➔Tétraèdre de silice b ➔ Maille plane de tétraèdres (en perspective)

c ➔ Réseau plan de tétraèdres (vue de dessus)

Figure I.4 : Feuillet siliceux (SiO_2) [7]

D'un feuillet alumineux ($Al(OH)_3$ (gibbsite) :



a ➔Octaèdre de gibbsite b ➔Maille plane d'octaèdres (en perspective)

c ➔ Réseau plan d'octaèdres (vue de dessus

Figure I.5 : Feuillet alumineux ($Al(OH)_3$) [7]

III.4. Types d'argiles :

III.4.1. 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 adhérents assez fortement entre eux par leurs faces basales, des liaisons hydrogènes existant entre les oxhydryles 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. [6]

La formule générale d'un feuillet de Kaolinite est donnée par la formule suivante :

$$n\ [Al_2\ Si_2\ O_5)\ (OH)_4]$$

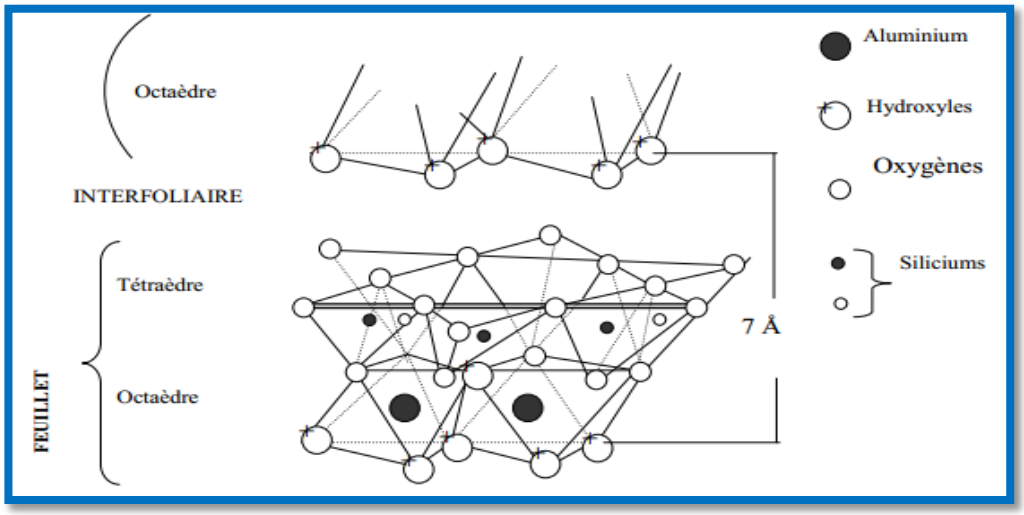


Figure. I.6 : Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite [6]

III.4.2. 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. [6]

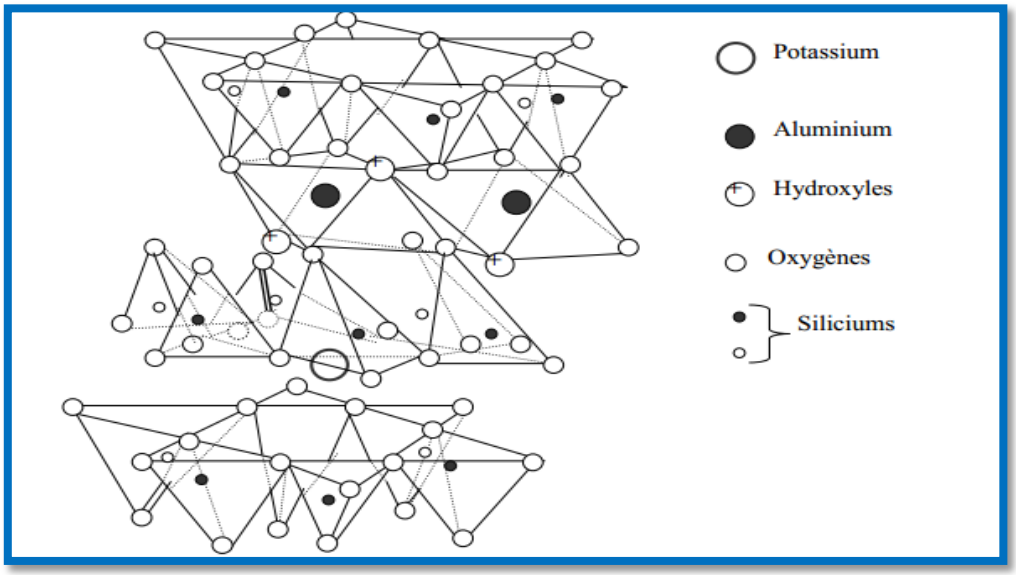


Figure. I.7 : Vue isométrique de la structure atomique de l'illite [6]

III.4.3. 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. [6]

La formule générale de la montmorillonite est la suivante :

$$n\ [\ (Al\ 1{,}67\ Mg\ 0{,}33)\ Si_4\ O_{10}\ (OH)_2\ ]$$

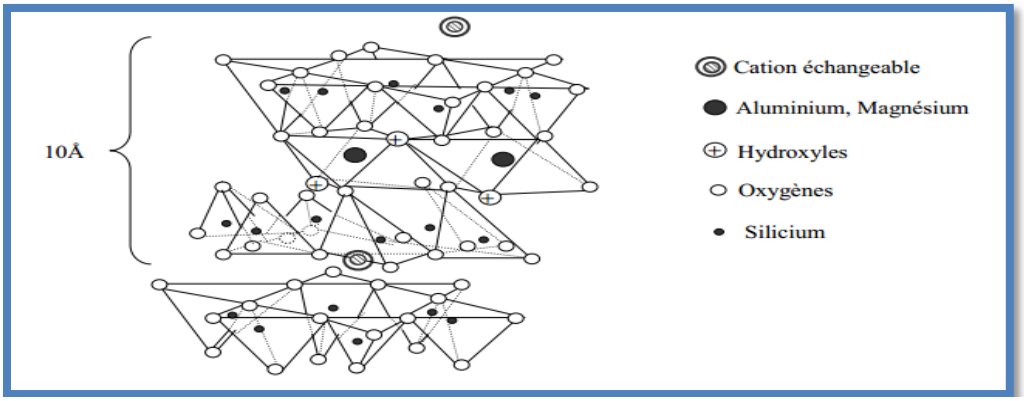


Figure. I.8 : Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite [6]

III.4.4. 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. [6]

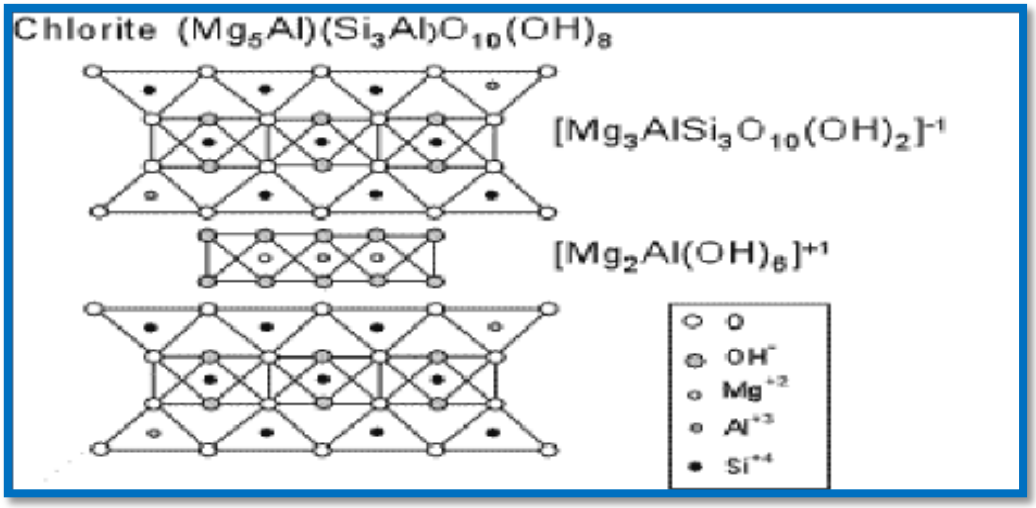


Figure. I.9 : Vue isométrique de la structure atomique des chlorites [6]

III.5. L'eau dans les argiles :

L'eau peut être présente dans l'argile de différentes façons, du plus stable au moins stable (tableau I.2). Dans la zone non saturée (correspondant à l'eau d'interposition), il se forme de nombreux ménisques air/eau dans les pores. L'eau liquide des pores de l'argile est en équilibre avec l'humidité de l'air extérieur et présente donc une isotherme d'absorption. L'eau y est soumise aux forces de capillarite, d'où l'apparition de forces de succion. Il est possible de tracer toutes ces caractéristiques sur une même figure, avec **w** (%) concentration en eau, **e** (%) expansion hydrique, **Sr** (%) humidité de l'air en équilibre avec l'argile, **s** (kPa) succion de l'argile. [8]

Tableau. I.2 : Différents types d'eaux dans les argiles [8]

Types d'eaux	Energie de liaison
Eau de constitution	Il faut chauffer à haute température pour détruire les liaisons chimiques et fournir la chaleur de décomposition
Eau d'hydratation	C'est l'eau liée, qui s'en va à relativement basse température, n'entraine pas une destruction de la structure de la Smectite gonflante, mais une variation de dimension de la maille de la Smectite. On parle aussi d'« eau zéolitique ». On fournit la chaleur d'hydratation
Eau absorbée	C'est l'eau hygroscopique qui se fixe dans les premières couches autour des feuillets d'argile. La chaleur d'adsorption est de l'ordre de 2 650 kJ/kg eau
Eau d'interposition	C'est l'eau qui reste entre les particules quand il n'y a plus de retrait. Elle part dans la deuxième partie du séchage. Elle est en équilibre avec l'humidité de l'air extérieur
Eau colloïdale	C'est l'eau autour des particules, entre la limite de retrait et la limite de liquidité. Elle intervient dans la plasticité´ et le séchage se fait avec retrait. La chaleur d'évaporation est légèrement supérieure à la chaleur de vaporisation de l'eau (2 500 kJ/kg eau)
Eau libre	On la trouve dans les barbotines, au-delà de la limite de liquidité

III.6. Domaines d'études des argiles :

L'argile s'applique dans divers domaines de notre vie de tous les jours et nombreux sont ceux qui l'ignorent encore. Ses bienfaits sont maintenant universellement reconnus par la science et ses usages sont multiples même si ses applications nous réservent bien des surprises. Elle est omniprésente dans notre vie quotidienne comme dans la plupart des secteurs d'activités (Figure I.10).

Utilisée, depuis de nombreuses années déjà, dans l'industrie, elle est pourtant encore méconnue du grand public en pétrochimie et dans l'industrie pétrolière. L'argile joue également un grand rôle dans l'industrie du papier, l'industrie de la céramique, est aussi largement employée en médecine vétérinaire et agriculture.

Depuis des millénaires, l'argile est également indissociable de l'architecture et de géni civil. Les ingénieurs en génie civil s'intéressent aux propriétés des argiles en tant que matériaux de construction. [9]

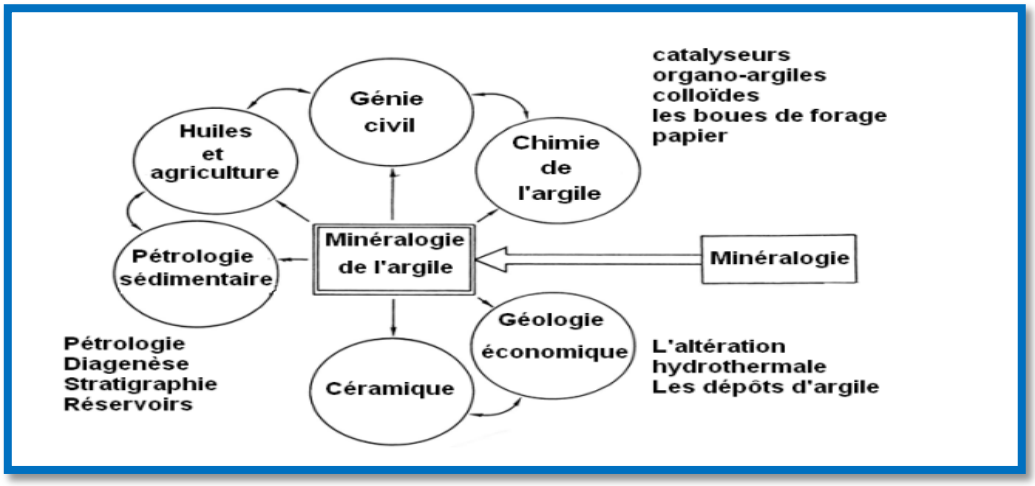


Figure. I.10 : Domaines d'études des argiles [9]

III.7. Propriétés des argiles :

Les minéraux argileux se caractérisent par quatre propriétés principales

- formes et surfaces spécifiques.
- capacités d'adsorption d'eau et de gonflement.
- multiples possibilités d'échanges cationiques.
- activité des argiles

III.8. Éléments dégraissants :

Souvent, les argiles naturelles présentent une plasticité excessive, ce qui entraîne des difficultés de fabrication (forte eau de façonnage, séchage lent et retrait de séchage important). Il est alors nécessaire d'ajouter des éléments inertes, appelés « dégraissants ». Ils sont « non plastiques », n'induisent pas de variations dimensionnelles au séchage. Souvent ils sont inertes jusqu'à haute température. Ils donnent aux produits une texture moins compacte, ce qui facilite l'évacuation de l'eau pendant le séchage et les dégagements gazeux pendant la cuisson. Ils permettent aussi une meilleure oxydation à cœur des produits en limitant l'apparition de « cœur noir ». Par contre, ils diminuent la plasticité, la compacité et les propriétés mécaniques après cuisson.Les éléments dégraissants le plus couramment utilisés sont décrits ci-dessous :

Le sable, de granulométrie de 0,2 à 1 mm, exempt de calcaire, à des doses pouvant atteindre 30 % au maximum ; le sable est généralement constitué de silice quartzeuse plus ou moins pure et parfois de feldspaths et mica. Le quartz est stable thermiquement mais subit des transformations allotropiques (point quartz à 573C°), responsables de casse des produits au refroidissement. Les sables feldspathiques et micacés ne présentent pas cette transformation allotropique. De plus ils peuvent présenter une action défendant quand leur teneur est importante en éléments alcalins et qu'ils peuvent former des eutectiques [8].

IV. Généralités sur La terre cuite

Les matériaux de terre cuite ont utilisé depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à son impératif, dans le domaine traditionnel industriel. Ils sont fabriqués à partir devenant souvent rouge à la cuise (sauf les argiles calcaire dont la couleur de cuise verte du rose à jaune et blanc) [10].

La terre cuite est un matériau céramique obtenu par la cuisson d'argile. Elle est utilisée pour réaliser des poteries, des sculptures et pour la fabrication de matériaux de construction, briques, tuiles ou carreaux [5]

Figure. I.11 : Poteries

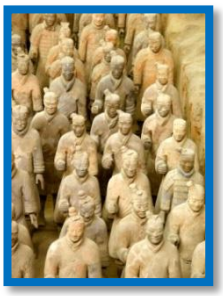


Figure. I.12 : Sculptures

Figure. I.13 : Briques

Figure. I.14 : Tuiles

Figure. I.15 : Carreaux

IV.1. Définition :

La brique de terre cuite est une brique naturelle en forme de parallélépipède rectangle, issue de procédés de conception très anciens. Une brique en terre cuite sera généralement conçue à base d'argile et de sable. C'est la couleur de l'argile qui va donner une teinte à la brique, qui sera souvent une brique rouge ou jaune. [5]

Les briques en terre cuite sont des briques de conception artisanale, cuites dans un four température de 800°C à 1200°C, Cela en fait un matériau de construction nettement plus authentique que le parpaing, et employée principalement dans la construction de murs.

Figure. I.16 : Brique de terre cuite

IV.2. Mode de fabrication :

IV.2.1. Méthode traditionnelle :

L'extraction de la terre nécessaire à la fabrication des briques se faisait à partir de Puits rudimentaires, de mines ou de carrières. Avant la mécanisation. Une fois l'argile extraite, un travail de broyage permettait d'affiner la matière première. Ensuite, l'ajout d'eau en grande quantité permettait d'obtenir une pâte homogène, à la plasticité voulue.

Le pétrissage, autrefois de faisant pied, et désormais avec de puissantes machines, permettait d'éliminer les derniers cailloux. Cette préparation de l'argile se terminait par une phase de pourrissage, durant laquelle la terre glaise se « reposait ».

Son façonnage se faisait dans un moule en bois dont les bords et le fond étaient ensablés afin que la glaise n'y adhère pas. Un morceau de glaise était placé dans le moule, puis aplani. La surface était égalisée et arasée de son excédent à l'aide d'un archet. Le tout était démoulé et déposé sur le sol, ou sur une grille pour une première phase de séchage.

Une fois durcies, les briques étaient empilées en quinconces pour faciliter la circulation de l'air entre elles. La cuisson s'opérait quand le nombre de briques sèches était suffisant.

Elles étaient alors empilées selon le même principe à l'intérieur du four, par une étroite

Ouverture verticale aménagée dans un des côtés. Des rainures horizontales recevaient une planche servant de support à l'ouvrier chargé de placer les briques jusqu'en haut du four.

L'ouverture était ensuite obturée avec de la terre. Le feu était allumé dans le foyer situé en sous-sol du four, et entretenu pendant plusieurs jours, avec une surveillance constante.

Ce travail manuel a donné aux briques leur forme caractéristique. Aujourd'hui, ce travail est industrialisé et permet d'obtenir différentes tailles de briques, parfaitement identique. Un système de découpage automatique façonne des briques à partir de

boudins de glaise. La brique subit ensuite une série de séchages qui éviteront les fissures et les éclats lors de la cuisson. [11]

Figure. I.17 : Four traditionnel [5]

IV.2.2. Méthode moderne :

Pour la fabrication de la brique de terre cuite en passe par plusieurs étapes :

- L'extraction
- Préparation de l'argile
- Façonnage
- Séchage
- Cuisson

IV.2.2.a. L'extraction :

La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile .il faut entendre argile au sens large et considérer également les terres limoneuses.

L'argile est extraite dans des argiles de argilières située en zone d'extraction.il est présent dans le gisement et ses propriétés différent en fonction de l'origine géologique. [12].

Figure. I.18 : Extraction d'argile [12].

IV.2.2.b. Préparation de l'argile :

La préparation comprend deux opérations principales : le broyage et le malaxage d'une part, le dosage et le mélange des matières premières d'autre part. Le but est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini. [12].

IV.2.2.b.1. Broyage et malaxage :

Ces opérations ont pour but de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plastique nécessaire au moulage de briques. Cette étapes très importante s'effectué dans des broyeurs mécaniques à meules verticale ou à cylindre horizontaux.

En fin contient également des débris organiques nuisible à la qualité du produit fini, et qui peuvent être éliminés que par l'action bactériologique. A cette fin, l'argile est stockée quelque temps dans un lieu humide.

Figure. I.19 : Broyage et malaxage de l'argile [12].

IV.2.2.b.2. Dosage et mélange :

Pour obtenir une qualité optimale de matière première, on ne fabrique plus les briques uniquement à partir des argiles locales, divers types d'argile sont mélangés, toujours sous contrôle permanent. Peut ainsi garantir la qualité constante du produit en terre cuit.

La préparation de matière première s'accompagne également d'ajout d'eau ou de vapeur, l'eau permet de garantir une mise en frome facile de l'argile, tandis que la vapeur augmente la plasticité de l'argile.

Les machines à doser sont constituées de réservoirs contenant les différentes matières premières dont des nourrices alimentent régulièrement et dans les proportions requises, un ou plusieurs mélangeurs. [12].

IV.2.2.c. Façonnage :

Le façonnage a essentiellement deux rôles :

- **Donner à la pâte une cohésion suffisante** La cohésion, partiellement développée par la préparation, est parachevée grâce à l'élimination de l'air occlus dans l'argile (désaération), à l'amélioration de la plasticité par un mouillage additionnel, par une injection de vapeur d'eau sous pression et par une intensification de la compression de la pâte [13].

- **Donner à l'argile la forme désirée pour le produit.**

Traitement sous vide est la désaération de la pâte par mise sous vide avant son passage dans l'extrudeuse finale a pour but de diminuer la porosité du produit, d'améliorer la plasticité et de donner une plus grande cohésion qui facilite le passage au travers de la filière.

En résumé, le traitement améliore la plasticité, permet de travailler avec des argiles plus sèches et augmente la résistance mécanique en sec [13].

Figure. I.20 : Façonnage de brique en terre cuite [12]

IV.2.2.d. Séchage :

Les produits sont façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30 % (chiffres exprimés en % par rapport au poids sec). Il est nécessaire, avant de les soumettre à la cuisson, d'éliminer la plus grande partie de cette eau : c'est l'opération de séchage. Il s'agit d'une phase délicate et importante de la fabrication qui doit être menée judicieusement si l'on veut obtenir des produits de qualité. Après leur passage dans le séchoir, ces derniers ne contiennent plus que 1 à 2 % d'eau résiduelle (quelque fois moins) [14].

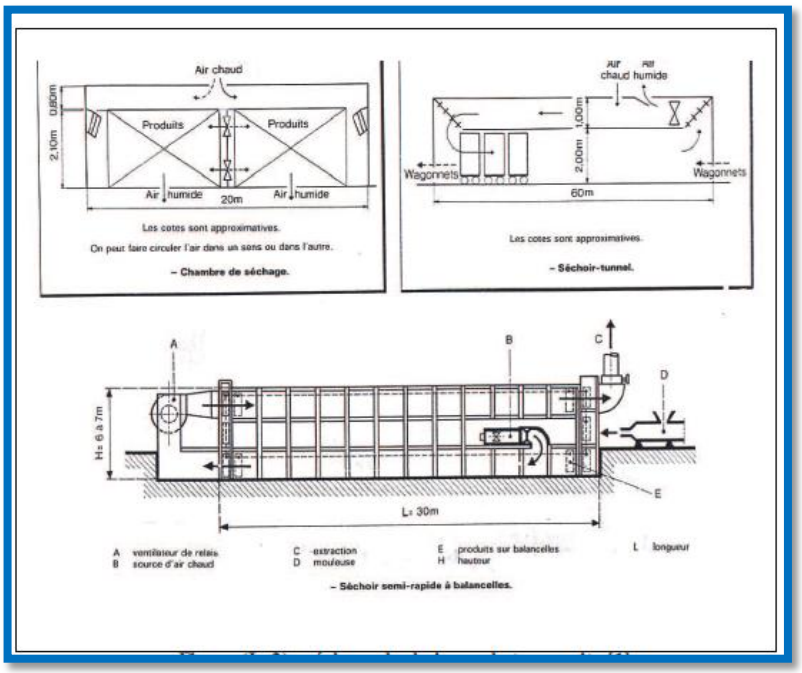


Figure. I.21 : Séchage des briques de terre cuite [10]

IV.2.2.e. Cuisson :

C'est la dernière étape que doit subir la brique d'argile façonnée et séchée, avant de pouvoir devenir une brique de terre cuite à proprement parler. C'est là une phase d'une grande importance qui doit se dérouler très progressivement. On augmente graduellement la température jusqu'à l'obtention de la température de cuisson (comprise entre 850 et 1200°C, en fonction du type d'argile), on diminue ensuite progressivement la température jusqu'au refroidissement complet. Chaque mélange d'argile se caractérise par sa propre «courbe de cuisson» [14] (Figure. I.22).

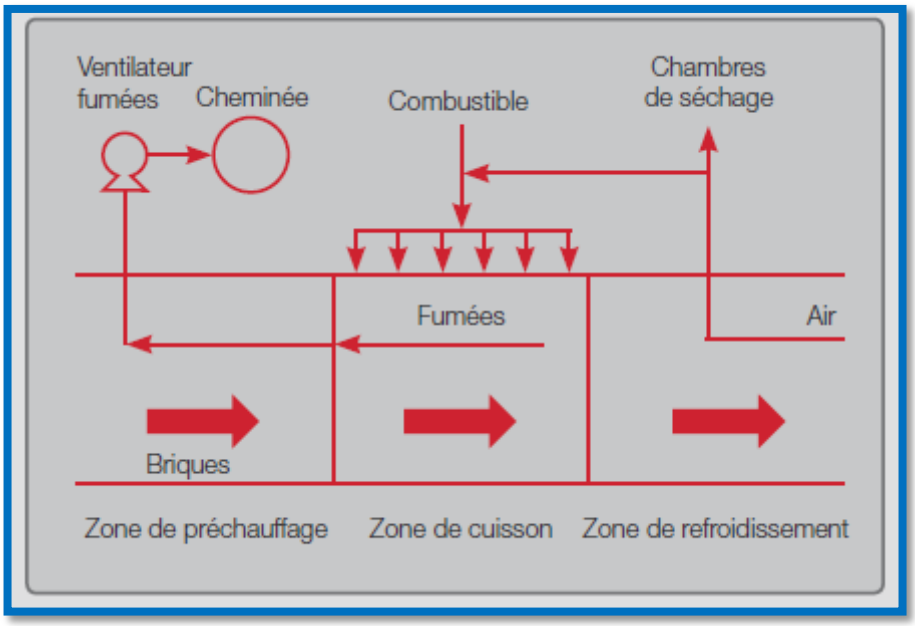


Figure. I.22 : Etapes de Cuisson [12].

Figure. I.23 : La cuisson de brique de terre cuite [12]

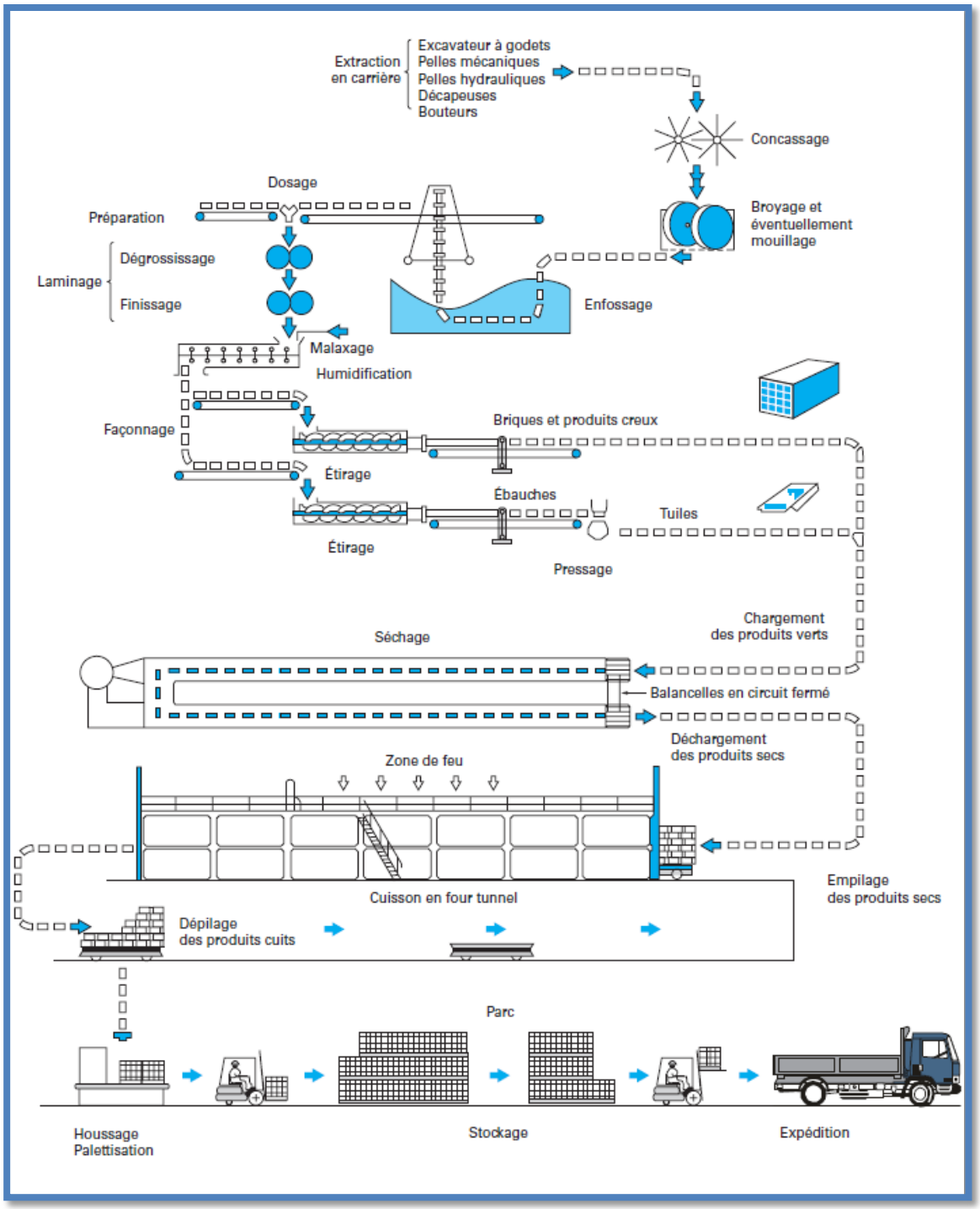


Figure. I.24 : Fabrication des produits de terre cuite [12]

IV.2.2.f.1. Les étapes de cuisson :

Sous l'action de la température, un certain nombre de réactions chimiques et physiques Complexes vont se produire dans le mélange argileux, qui vont provoquer des Modifications de porosité, de masse volumique, de dimensions, et de propriétés mécaniques. [8]

Les modifications au chauffage des principaux composants du mélange argileux sont les Suivantes :

- jusqu'à 200°C environ, dégagement de l'eau résiduelle de séchage (reste d'eau d'interposition, d'eau absorbée hygroscopique) et de l'eau d'hydratation ou zéolitique. Ainsi les Smectite peuvent perdre une part importante de leur eau, en particulier les Molécules placées en position inter foliaire. Les molécules H20 disparaissent des spectres IR.
- de 200 à 450°C, élimination des matières organiques ; elles s'oxydent avec l'air carbonés vont se décomposer au lieu de s'oxyder en formant des hydrocarbures gazeux et du carbone qui reste dans la masse du tesson. La décomposition se produit à plus haute température que l'oxydation et le carbone résiduel est difficile à brûler par la suite. [8]
- les hydrates non argileux se décomposent totalement ou partiellement à 350°C. Les hydroxydes de fer (goethite) se transforment en oxydes de fer. Suivant la possibilité d'oxydation, ils donnent soit de l'oxyde ferrique **Fe_2O_3** avec la coloration rouge, soit de la magnétite **Fe_2O_4** de coloration bleu noir. Ainsi les mélanges argileux contenant du fer cuisent rouge en atmosphère oxydante mais cuisent brun bleu en atmosphère réductrice.
- de 400 à 680°C, il y a destruction des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution. Les liaisons oxhydryles OH disparaissent des spectres IR. Il y a formation décomposés très fins et désordonnés dits métakaolin et on observe un début du retrait de cuisson; la kaolinite, l'illite et l'halloysite commencent à se décomposent ainsi vers 550 à 580°C, la montmorillonite vers 680°C. [8]

- à 573°C, le quartz change de forme cristallographique. Au chauffage, cette transformation n'a pas de conséquence pratique dans un matériau non céramisé. [8]
- de 750 à 850°C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires) en chaux vive et dégagement de gaz carbonique selon la réaction :

$$CO_3Ca \Rightarrow Ca\,O + CO_2\,(g)$$

- Cette réaction est un équilibre et les températures exactes dépendent donc de l'atmosphère gazeuse. On observe aussi la décomposition des sulfures dans cette gamme de température, ainsi que de certains sulfates et des halogénures. [8]
- dès 800°C et jusqu'à la température finale de cuisson, deux types de phénomènes apparaissent. D'abord les fondants contenus dans les mélanges non calcaires (feldspath, minéraux contenant des alcalins) entrent petit à petit en réaction et forment des eutectiques à relativement bas point de fusion qui réalisent un frittage liquide réactif donnant aux produits leurs qualités mécaniques définitives. Les premiers verres apparaissent avant 800°C à 1 150°C, les feldspaths sont ainsi fondus. [8]

IV.3. Types de brique de terre cuite :

IV.3.1. Briques ordinaires :

Les briques de terre ordinaire se présentent sous la forme de parallélépipèdes rectangles obtenus par extrusion « filage » ou éventuellement par pressage lorsqu'il s'agit de brique pleines .Selon la norme XP P13 305 la brique plein ordinaire se compose en deux catégories pleines ou perforés. [14]

IV.3.1.a. Brique pleine :

Brique ne comprend aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est dimensions : 250 x 120 x 55 mm (Figure .I.26) [14]

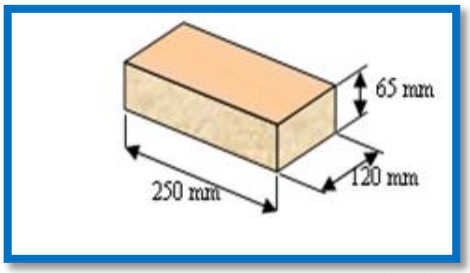


Figure. I.25 : Brique pleine [14]

IV.3.1.b. Brique perforée :

Les briques perforées qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriqués par voie demi-sèche. Ces briques doivent avoir les dimensions suivants 250x120x88-55mm. [14]

On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35-45 mm et de 17-18 mm. (Figure I.27)

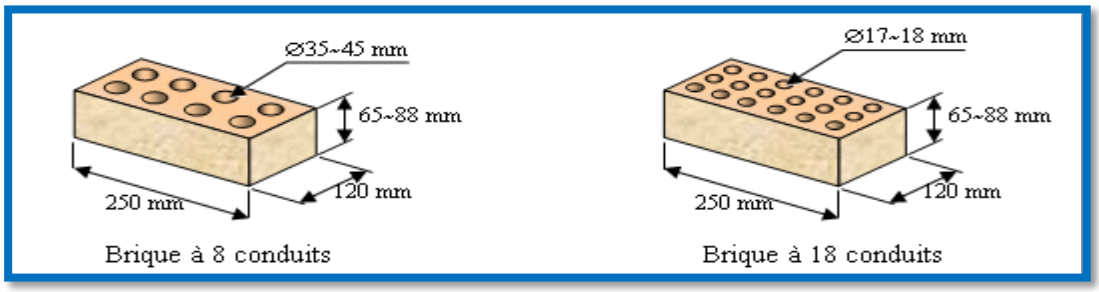


Figure. I.26 : Briques perforées. [14]

IV.3.2. Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale :

Selon la norme NF P 13-301. Les briques creuses à perforation horizontale sont des produits comportent des perforations sont parallèles au plan de pose et dont la section totale dépasse 40 % de la section du produit [15, 16,17]. Briques plâtrières : d'épaisseur de 3.5 à7.5 cm (Figure I.28) [14]

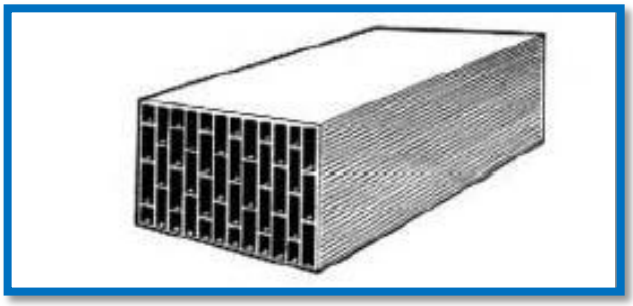


Figure. I.27 : Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale. [14]

IV.3.3. Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés) :

Les blocs perforés sont des produits permettant d'une paroi réaliser toute l'épaisseur d'avec un seul élément, et comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose. Leur largeur est au moins de 14 cm, et la somme des perforations est égale ou inférieure à 60% de la section totale. Selon leurs caractéristiques thermique, ces blocs peuvent être soit des blocs normaux soit des blocs de type G (Figure I.28)[14]

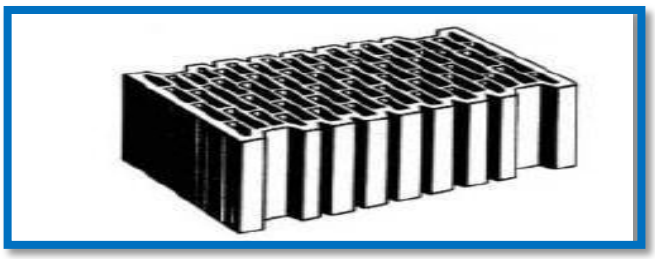


Figure. I.28 : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G [14]

IV.4. Propriétés et caractéristiques des briques de terre cuite :

Les propriétés et les caractéristiques des briques de terre cuite sont indiquées par les tableaux suivants :

Tableau. I.3 : Propriétés des briques pleines et perforées [14].

Poids spécifique	**(Kg/m^3)**	Environ 1800
Résistance Mécanique	**Compression (MPa)**	5 à 80
	Traction (MPa)	0 à 2
Dilatation thermique (mm/m.kg)		0,00 à 5
Gonflement à l'humidité (mm/m)		0,1
Retrait au durcissement (mm/m)		0,2 à 1,1
Porosité		5 à 18
Réaction au feu		Très élevé
La conductivité w/m.c		1,15

Tableau. I.4 : Propriétés des briques creuses [14].

Masse volumique (Kg/m^3)	1750 à 2050
Résistance à la compression (MPa)	04 à 08
Dilatation conventionnelle à l'humide mm/m	0,60 à 1,6
L'absorption d'eau	≤15
Résistance	1
Isolation acoustique dB	41 à 58

Tableau. I.5 : Les résistances thermiques des briques pleines, perforées et Creuses [14]

Pleines		**perforées**		**Creuse**	
Epaisseur (cm)	**R (m^2.C/W)**	**Epaisseur (cm)**	**R (m^2.C/W)**	**Epaisseur (cm)**	**R (m^2.C/W)**
5,5	0,05	20	0,52	5	0,10
10,5	0,09	30	1	10	0,20

IV.5. Les usages de la brique de terre cuite :

On va retrouver différente modèles des briques de terre cuite, adaptées à tous les usages [5]:

- **La construction d'un mur intérieur :** On peut utiliser n'importe quelle brique de terre cuite pour construire un mur en intérieure. C'est généralement les briques plâtrières qui seront utilisées à cet effet.
- **La construction d'un mur extérieur :** Pour les mures extérieures, on utilisera plus volontiers des briques pleines, mieux adapté aux intempéries.
- **La construction d'un mur porteur :** On peut également utiliser des briques pleine pour construire les murs porteurs d'une maison.
- **Le parement :** On peut enfin trouver des briques de terre cuite de parement, qui vont tout simplement servir à orner un mur et à lui donner un aspect traditionnel.

IV.6. Les avantages des briques de terre cuite :

Ce matériau de construction est encore utilisé aujourd'hui, elle est conforme à la norme **RT2012**, la brique est employée dans la construction de maisons, elle est aussi plus utilisable, c'est tout simplement car elle a de très nombreux avantage [5]:

- **Une bonne isolation (phonique et thermique) :** la brique en terre cuite est naturellement isolante, elle résiste au feu et aux écarts climatiques. Associée à des qualités, elle est plus performante que le béton dans tout type d'isolation elle vous offrira une maison très agréable à vivre.
- **Un matériau naturel :** contrairement à d'autres brique en terre cuite est artisanale et écologique, sa production est en effet très peu polluante. Il s'agit d'ailleurs d'un matériau sain et respirant et c'est un matériau ne contenant aucun produit toxique.
- **Un matériau esthétique :** la brique de terre cuite offre une cote naturelle et esthétique à n'importe quelle Mison sans comte qu'elle n'a pas besoin d'un enduit et elle est recyclable.

- **Un pose facile :** monter un mure en briques est facile et rapide, et à la portée quel bricoleur expérimente.

IV.7. Les inconvénients des briques de terre cuite :

Il convient cependant de rappeler que la brique n'a pas que des avantages. À vrai dire, elle a deux inconvénients principaux [5] **:**

- Il est nécessaire de disposer de grandes quantités d'argile pour construire une maison et également de beaucoup de temps
- Les briques de terre cuite nécessitent beaucoup d'énergie grise pour leur fabrication (400 kWh/m^3).

V. Conclusion :

Cette étude bibliographique, nous a permis de présenter tous types d'argiles, ainsi que l'utilisation dans le domaine de fabrication des produits de terre cuite, auparavant nous avons présenté le cadre général de la géologie d'Adrar.

Par ailleurs, la brique de terre cuite peut présenter des avantages et des inconvénients. En se basant sur les usages dans le secteur bâtiment ainsi que les caractéristiques physiques mécaniques et thermiques.

Notre travail de recherche consiste à étudier le processus de la fabrication des briques de terre cuite et les démarches préliminaire pour la caractérisation des matériaux de terre cuite (Briques de terre cuite) sont des matériaux préparés à partir de matières premières naturelles dont le constituant principal est l'argile.

Chapitre II

I. Introduction :

Dans le cadre général de notre travail ayant pour objet la caractérisation géotechnique des matériaux locaux de la wilaya d'Adrar d'une parte, et la contribution des propriétés physiques et chimiques dans l'orientation de ces matériaux vers l'industrie des céramiques d'une d'autre parte.

Le présent chapitre regroupe la localisation des différents gisements des matériaux étudiés, ainsi que les résultats des essais d'identification et leurs interprétations

II. Situation géographique de la région d'Adrar :

La wilaya d'Adrar est située dans le Sud-ouest de l'Algérie, et couvre une superficie globale de 427.968Km² soit 17,97% du territoire national, elle s'étend selon les coordonnées géographiques :

- Entre les longitudes 0°30` Est et 0°30` à l'Ouest.
- Entre la latitude 26°30`et 28°30`au Nord.
- Et une altitude moyenne de 222m.

Elle est limitée (Figure II.1) :

- Au Nord, par les wilayas de Bayedh et Ghardaïa.
- A l'Ouest, par la wilaya de Bechar et Tindouf.
- A l'Est, par la wilaya de Tamanrasset.
- Au Sud, par la Mauritanie et le Mali.

D'un point de vue géographique la Wilaya d'Adrar se constitue en quatre grandes zones à savoir [4] :

1. **Gourara :** Son centre administratif est la daïra de Timimoun.
2. **Touat :** Elle se prolonge du Brinkane (Tsabit) jusqu'à la daïra de Reggane; c'est la plus vaste des régions.
3. **Tidikelt :** Cette région se prolonge d'Aoulef à Ain Saleh.
4. **Tanezrouft :** (qui signifie « désert » en tamazight) la région de de Bordj Badji Mokhtar.

Figure. II.1 : Situation géographique de la wilaya d'Adrar.

III. Localisation des gisements :

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

Par ailleurs, Notre travail est focalisé sur quatre gisements d'argiles, de la commune d'Adrar, la commune de Fonoghil (Sidi Youcef), la commune de Timimoun et la commune de Reggane. Ainsi que trois carrières du sable de dune tel que le sable de Bouda(Adrar), le sable de Timimoun et le sable de Tilouline(Zt/Kounta).(Figure II.2)

II.1 L'argile :

II.1.1 L'argile d'Adrar (Tililane Nord) :

Le gisement est situé au Nord de la ville d'Adrar (Tililane), dans le côté droit de la route nationale N°6 en allant vers Bechar.

II.1.2 L'argile de Sidi Youcef :

Le gisement est situé à proximité de la RN°06, dans le côté droit en allant vers la ville de Reggane

II.1.3 L'argile de Timimoun :

Le site d'argile est situé au Sud-Ouest de la ville de Timimoun, dans le côté gauche de la route menant vers la wilaya d'Adrar.

II.1.4 L'argile de Reggane :

Le gisement est situé au Nord-Ouest de la commune de Reggane, dans le côté gauche de la route RN°06 en allant vers Adrar.

II.2 Sable de dune :

II.2.1 Sable de Bouda (Adrar) :

La carrière se trouve à 20 Km à l'Ouest de la ville d'Adrar.

II.2.2 Sable de Timimoun :

Le gisement est situé au Nord- Ouest de la ville de Timimoun à 10Km dans le côté gauche de la RN°51 en allant vers la commune d'Oulad Saïd.

II.3.1.3.Sable de Tilouline (Zt/Kounta) :

Le gisement de sable de dune est localisé dans le Ksar de Tilouline, se trouve à 3 Km dans le côté droit de la RN°06 en allant vers Zt/Kounta.

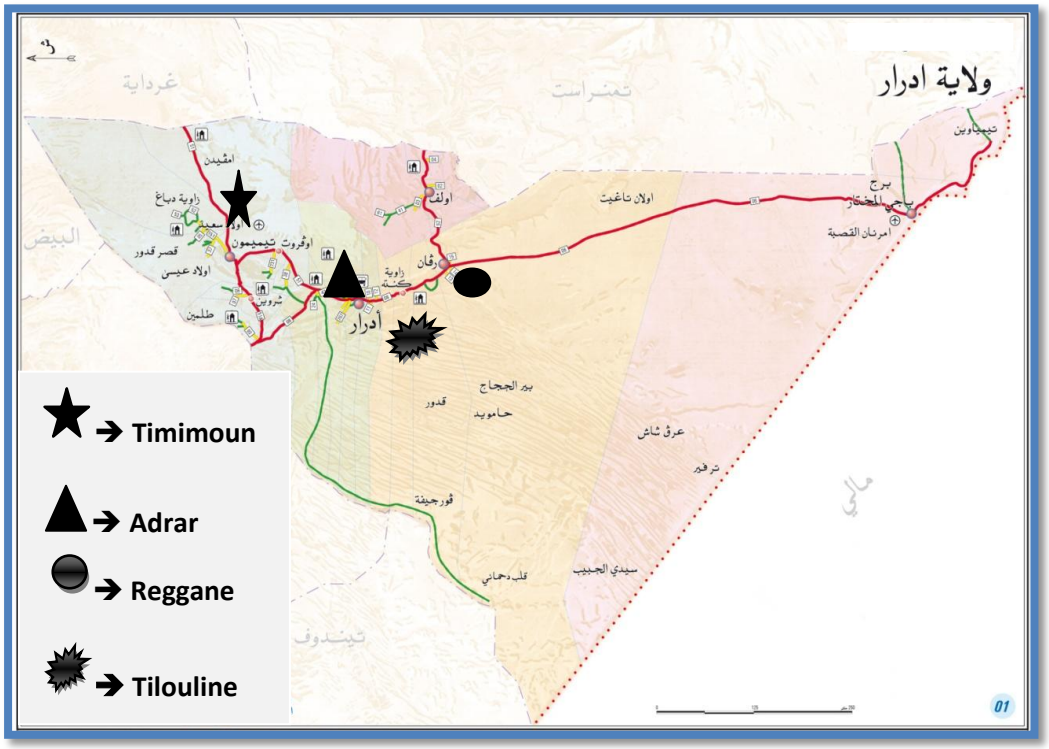


Figure. II.2 : Localisation des gisements des matériaux étudiés.

IV. Identification des matériaux utilisés :

IV.1 Le sable de dune :

Nous avons procédé aux prélèvements des échantillons, qui ont été soumis à une série des essais d'identification ci-après :

- La masse volumique apparente (NF-P 18-554).
- La masse volumique absolue (NF-P18-558).
- L'analyse granulométrique (NF-P 18-560).
- Le module de finesse (NF-P 18 304).
- L'équivalent de sable (NF-P 18 598).

IV.1.1 Les propriétés physiques :

IV.1.1.a La masse volumique apparente (NF-P 18-554) :

- **Définition :**

La masse volumique apparente est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel).

Figure. II.3 : Détermination de la masse volumique apparente

- **Expression des résultats :**

$$\rho_{app} = Ms/1000$$

$$Ms = Mt - Mv$$

On a :

- Mt : masse de l'échantillon total.
- Ms : masse de l'échantillon après étuvage.
- Mv : masse de la tare.

Tableau.II.1 : Les valeurs de la masse volumique apparente des sables analysés [Annexe.1].

Type d'essais	La région		
	SD1	SD2	SD3
P_{app} (g/cm^3)	1,54	1,49	1,53

IV.1.1.b La masse volumique absolue (P18-555) :

- **Définition :**

La masse volumique absolue est définie comme le quotient de masse sèche de l'échantillon par le volume de sa matière (volume absolu tous vide déduits).

- **Expression des résultats :**

$$\rho_{abs}=Ws\ /VGS$$

Tableau.II.2 : Les résultats de la masse volumique absolue des sables analysés [Annexe.2].

Type d'essais	La région		
	SD1	SD2	SD3
ρ_{abs}(g /cm ^{3})	2,58	2,54	2,52

IV.1.1.c L'analyse granulométrique (NF-P 18-560) :

- **Définition :**

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

- **Principe de l´essai :**

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

- **But de l´essai :**

Ils permettent d'obtenir la réparation en pourcentage des grains solides selon leurs dimensions.

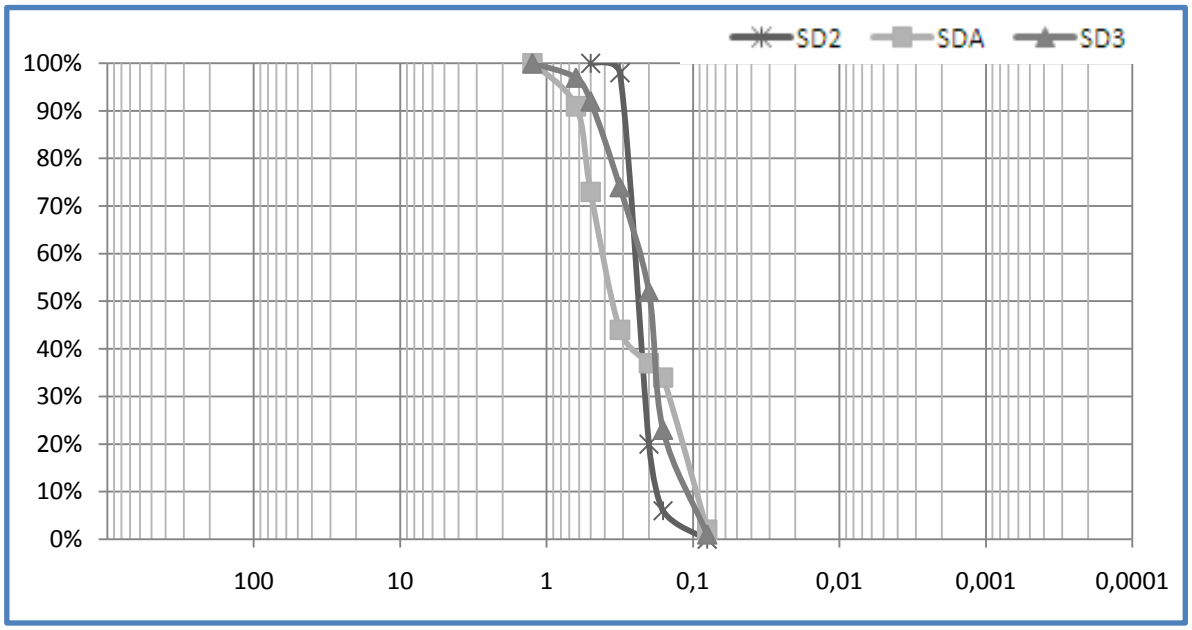


Figure II.4 : Courbes granulométrique des sables étudiés

- **Le coefficient d'uniformité Cu :**

  Il est défini par :

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

- **Coefficient de courbure Cc :**

  Il est défini par :

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

Tableau II .3 : Les valeurs des Cc et Cu

Type d'essais	La région		
	SD1	SD2	SD3
Cu	3,323	1,785	2,166
Cc	0,395	1,639	1,116

- **Classification par LCPC :**

Cette classification est celle utilisée dans les pays Afrique francophone. Elle a été mise au point en France en 1965 par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Cette classification est une adaptation de la classification U.S.C.S (The Unified Soil Classification System) mis au point par le « Bureau of réclamation » et le « Corps of Engineers » aux Etats Unis

La classification LPC des sols utilise les résultats de l'analyse granulométrique

Pour D80µm TC%= <5% ; Cu<6 et Cc<1 Selon la classification LCPC.

D'où : Les sables des dunes des trois régions ont été classés comme **un sable propre mal gradué.**

IV.1.1.d Le module de finesse (NF-P 18 304) :

- **Définition :**

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.).

$$MF=1/100*\sum$$

Tableau. II. 4 : Les valeurs de module de finesse

Type d'essais	La région		
	SD1	SD2	SD3
Mf	1,31	0,96	1,06

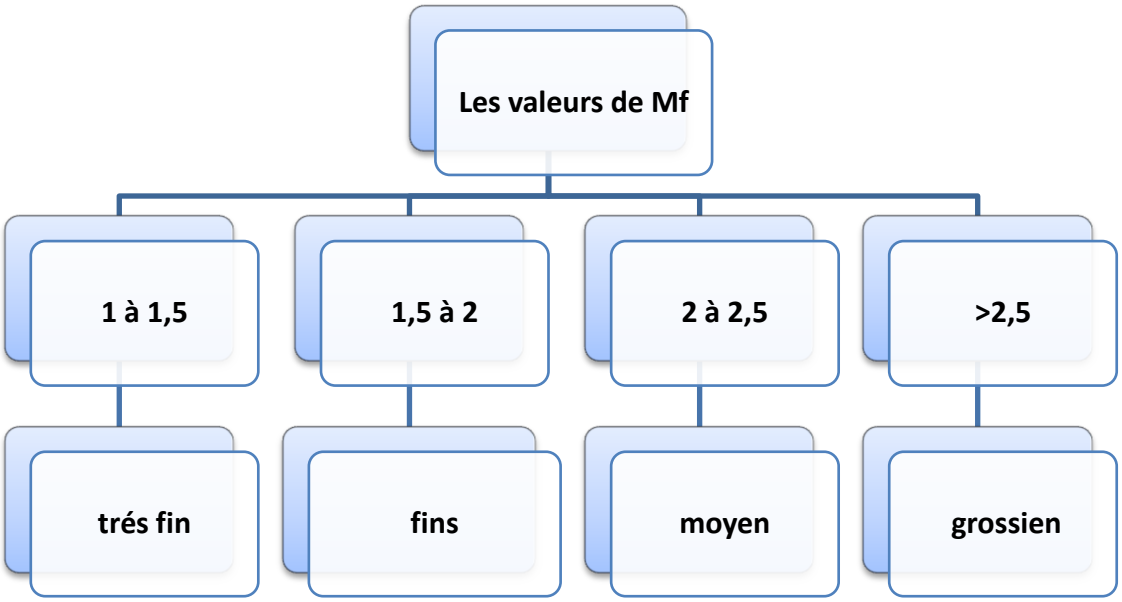


Figure. II.5 : Classification des sables selon MF.

Selon la classification ci-dessus, les valeurs obtenues de Mf sont insérées dans la fourchette 1 à 1,5.

Donc on va dire que les trois sables des dunes sont des sables très fins.

IV.1.1.e L'équivalent de sable (NF-P 18 598) :

- **Définition :**

  L'essai est effectué sur la fraction de diamètre varie de 0/2 mm du matériau à étudier. Cet essai est important, car la présence d'éléments fins peut modifier le comportement de ces sols.

  En particulier la présence de particules argileuses dans le sable. Selon un processus normalisé, On lave l'échantillon, et on laisse reposer le tout .Au bout de 20 minutes on mesure les éléments (Figure II.6).

- **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.

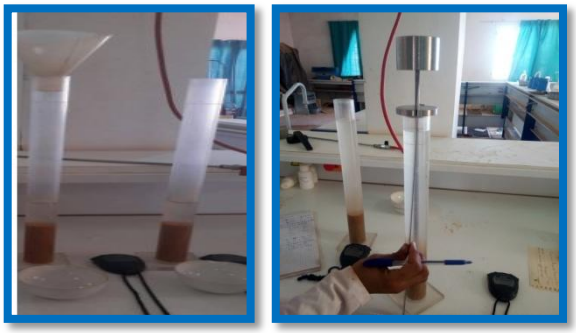


Figure II.6 : Essai de l'équivalant de sable.

- **Expression des résultats :**

$$\mathbf{Esv}(\%) = \frac{\mathbf{h2}}{\mathbf{h1}}\mathbf{100} \qquad \mathbf{Esp}(\%) = \frac{\mathbf{h'2}}{\mathbf{h1}}\mathbf{100}$$

On a :

- h 1 : hauteur de sable avec les fins.
- h 2 : hauteur de sable visuel.
- h'2 : hauteur de sable avec piston.

Tableau.II.5 : Les résultats de l'équivalent de sable [Annexe.4].

Type d'essais	La région		
	SD1	SD2	SD3
ESV(%)	62	88	94
ESP(%)	62	75	81

IV.2 L'argile :

Nous avons effectué des prélèvements des échantillons, qui ont été soumis à une chaîne des essais d'identification suivants :

- L'analyse granulométrique par sédimentation (NF-P94-057).
- Le Poids spécifique des grains solide (NF-P 94 054).
- Les limites d'Atterberg (NF-P 94 051).

- La limite de retrait (NF-P94060-1).
- L'essai de bleu méthylène (NF-P94 068).
- Teneur en carbonate de calcium $CaCO_3$ (NF P94-051).

IV.2.1 Les caractéristiques géotechniques :

IV.2.1.a L'analyse granulométrique par la méthode de sédimentation (NF-P94-057) :

- **Définition :**

Selon la norme NF P94-057, l'analyse granulométrique par sédimentation est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage, l'essai a pour objet de détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol.

Figure. II.7 : Analyse granulométrique par sédimentation

- **Expression des résultats :**

❖ **Pourcentage des éléments inferieurs à D :**

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

On a :

- Vs : Volume de la suspension 1000L.
- m : Masse du sol sec utilisé (m = 20 g).
- ρs : Masse volumique des grains solides =2,65 g/cm^3
- ρw : Masse volumique de l'eau
- Rt : Lecture de l'éprouvette A au temps t
- RB : Lecture de l'éprouvette B (Eprouvette témoin).

❖ **Des diamètres des particules non décantée :**

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

F: est un facteur donné par l'abaque

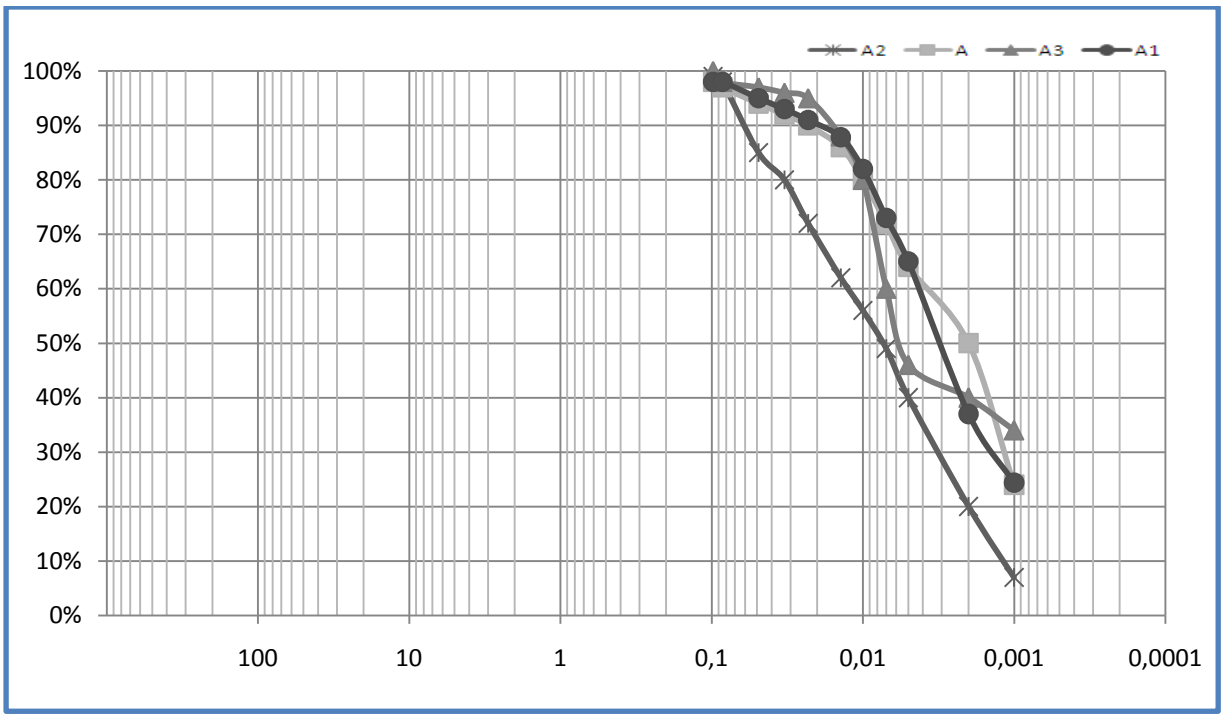


Figure. II.8 : Courbes granulométrique des argiles étudiées.

Les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentation (la norme NF P 94-057) sont insérés dans le tableau ci-dessous :

Tableau.II.6 : Granularité des argiles étudiées.

Fourchettes	La région			
	A	A1	A2	A3
Sable (>0,02mm)	10	10	20	10
Limon (0,02-0,002mm)	46	47	50	48
Argile (<0,002mm)	44	43	30	42

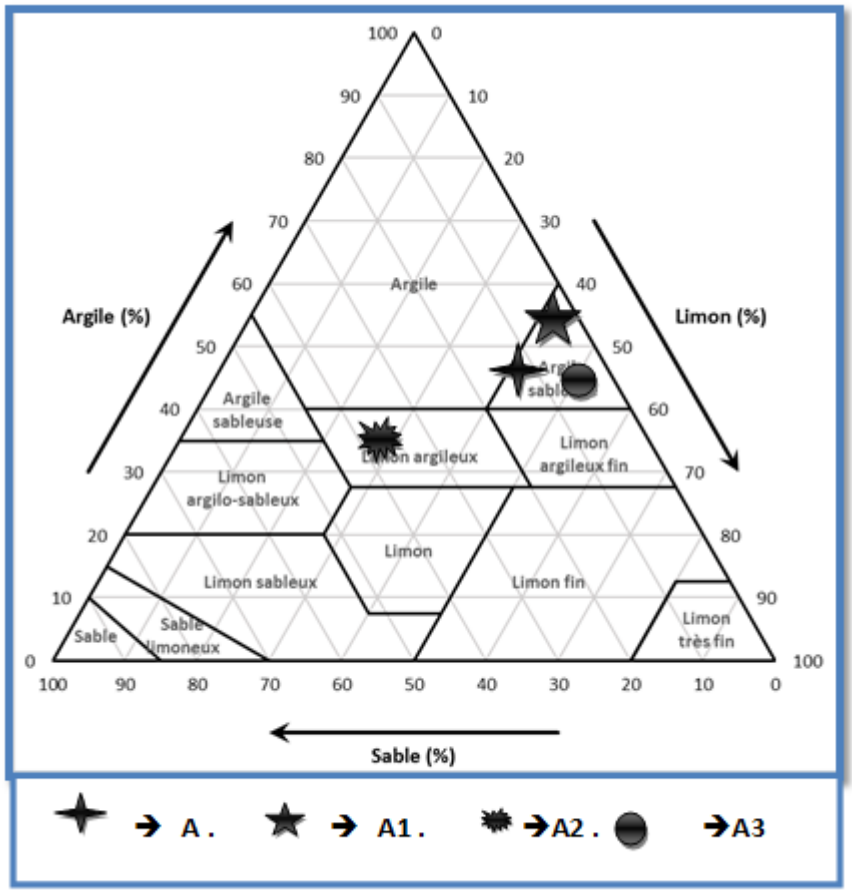


Figure. II.9 : Classification triangulaire des sols [18]

Selon la classification triangulaire, les sols des trois régions Adrar, Sidi Youcef et Reggane ont été classés comme un sol de nature argileux sableux. Mais le sol de Timimoun a été classé comme un limon argileux.

IV.2.1.b Le poids spécifique des grains solide (NF-P 94 054) :

- **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.

- **Principe de la mesure :**

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

Figure. II.10 : Détermination du poids spécifique

- **Expression des résultats :**

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

On a :

- m1 : Pycnomètre vide.
- m2 : Pycnomètre + l'eau désilé jusqu'a le repère
- m3 : Pycnomètre + échantillon.
- m4 : Pycnomètre +échantillon + l'eau

Tableau II.7 : Poids spécifiques des différents sols étudiés.

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
γ_s(g/cm^3)	2,6	2,64	2,61	2,66

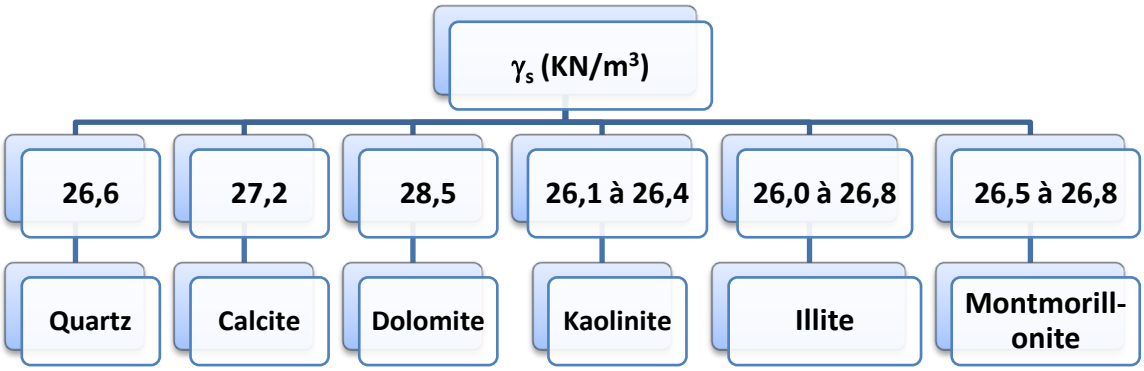


Figure II.11 : Diagramme des valeurs de Gs pour différents types de sols à 20°C [15]

Les valeurs de poids spécifique obtenues sont variées entre 2,60g/cm^3 à 2,66 g/cm^3.

Donc nous pouvons dire que les sols étudiés sont composés par les minéraux suivants : Quartz, Kaolinite, Illite et peut être une montmorillonite.

IV.2.1.c Les limites d'Atterberg (NF-P 94 051) :

- **Définition :**

  Les argiles forment des pâtes dans lesquelles chaque grain est relié aux grains voisins par des forces de cohésion dues à la présence des couches adsorbées. La consistance qui en résulte dépend en grande partie de la teneur en eau du matériau. On distingue alors trois états de la consistance des argiles : états liquide, plastique et solide (Figure II.12). A l'état liquide, les grains sont indépendants les uns des autres, le mouvement relatif entre les particules est aisé. A l'état plastique, les grains sont plus rapprochées et ont mis en commun leurs couches d'eau adsorbées. Lorsqu'il y a mouvement, les grains restent attachés les uns aux autres sans s'éloigner. A l'état

solide, les distances inter-granulaires sont encore plus petites. Les grains arrivent même au contact en quelques points chassant ainsi l'eau adsorbée. Les frottements internes sont alors importants. La transition d'un état à l'autre est très progressive. Néanmoins, on utilise de façon pratique les limites d'Atterberg.

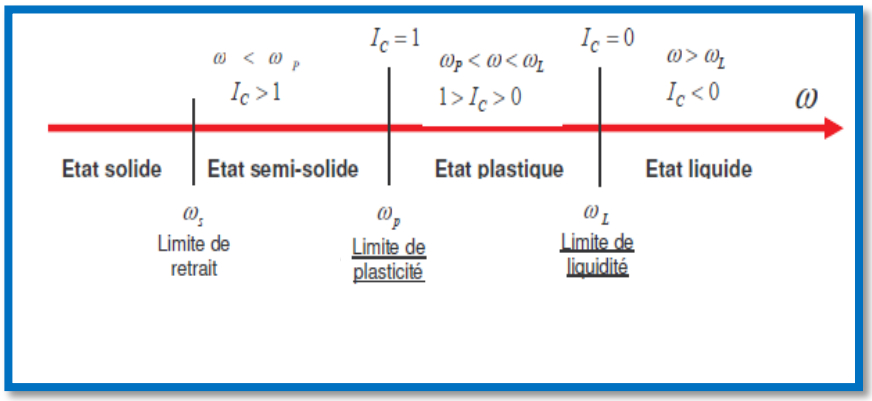


Figure.II.12 : Etats d'un sol en fonction de sa teneur en eau. [19]

IV.2.1.c.1 La limite de liquidité (WL) :

- **Définition :**

La limite de liquidité (WL) 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.

Figure.II.13 : Détermination de la limite de liquidité WL.

Tableau II. 8 : Les valeurs de la limite de liquidité des sols étudiés [Annexe.5].

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
Wl(%)	96	76	47	61,5

IV.2.1.c.2 La limite de plasticité(WP) :

- **Définition :**

  Teneur en eau correspondant à une limite arbitraire entre les états plastique et semi-solide de la consistance d'un sol.

- **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.

Figure II.14 : Détermination de la limite de plasticité WP.

- **Expression des résultats :**

$$WP= ((Mh- Ms)/Ms)*100$$

Tableau II.9 : Les valeurs de la limite plasticité des sols étudiés [Annexe.6].

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
Wp(%)	40,93	39,97	26,88	32,27

IV.2.1.c.3 L'indice de plasticité (IP) :

- **Définition :**

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

Expression des résultats :

$$I_P = W_L - Wp$$

Tableau.II.10 : Les valeurs de l'indice de plasticité.

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
Ip	55,07	36,03	20,12	29,23

❖ **La classification des sols analysés :**

- **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.15). Selon la position dans le diagramme du point représentatif ayant pour abscisse la limite de liquidité et pour ordonnée l'indice de plasticité.

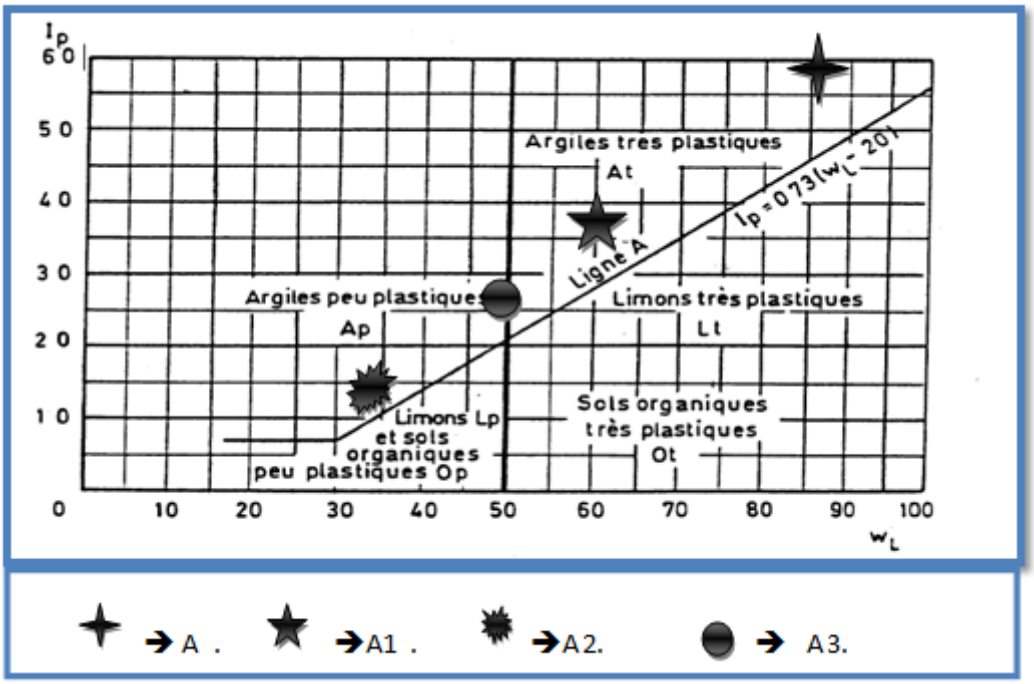


Figure II.15 : Classification des sols étudiés sur le diagramme de Casagrande. [18]

D'après la classification de casagrande (diagramme), nous avons constaté ce qui suit :

a. Le sol d'Adrar, et Sidi youcef sont des argiles très plastiques.

b. Le sol de Timimoun et de Raggane sont des argiles peu plastiques.

- **Atterberg (1973)** classifie la plasticité des argiles en trois niveaux comme montrés dans le (Figure II.:16) suivant :

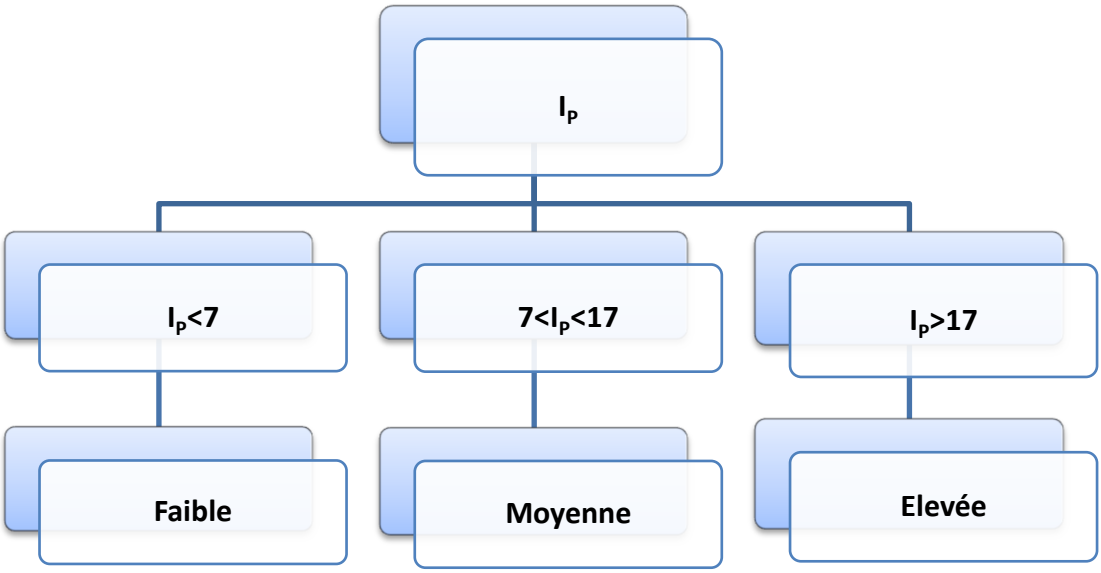


Figure II.16 : Classification des argiles selon d'Atterberg(1973) [15].

Selon les résultats obtenus de l'indice de plasticité des sols, et suivant la classification d'Atterberg, nous avons classé les sols des quatre gisements comme une argile de plasticité élevée.

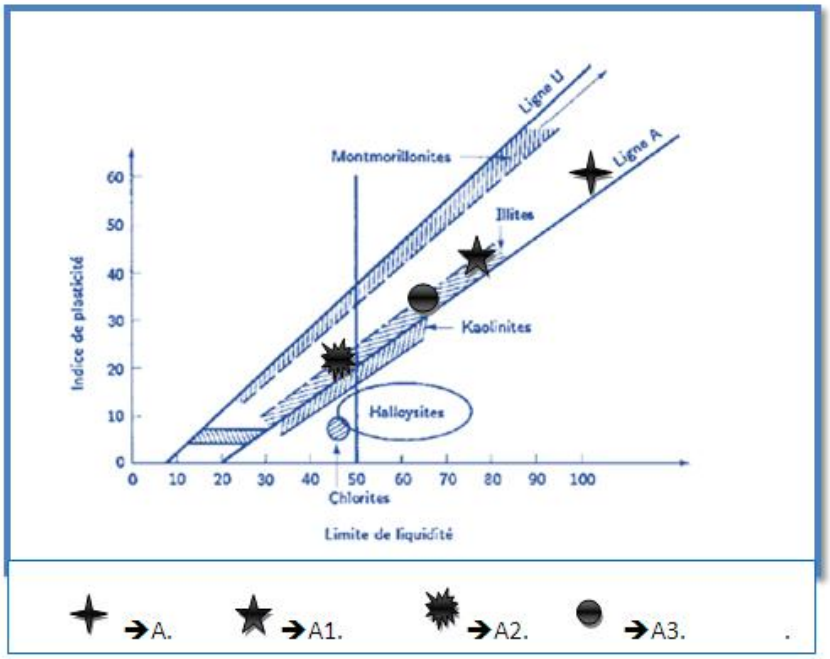


Figure.II.17 : La position des minéraux argileux les plus connus sur le diagramme de casagrande. [20]

Suivant le diagramme de classification ci-dessus, l'illite est le plus dominé dans la composition minéralogique des argiles étudiées.

❖ **L'Activité des argiles :**

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

$$\mathbf{Ac} = \frac{\textbf{Indice de plasticité}}{\%\ \textbf{des éléments} < 2\boldsymbol{\mu}}$$

Tableau.II.11 : L'activité des sols étudiés.

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
I_p (%)	55,07	36,03	20,12	29,23
$< 2\mu$ (%)	44	43	30	42
A_C (%)	1,25	0,83	0,67	0,69

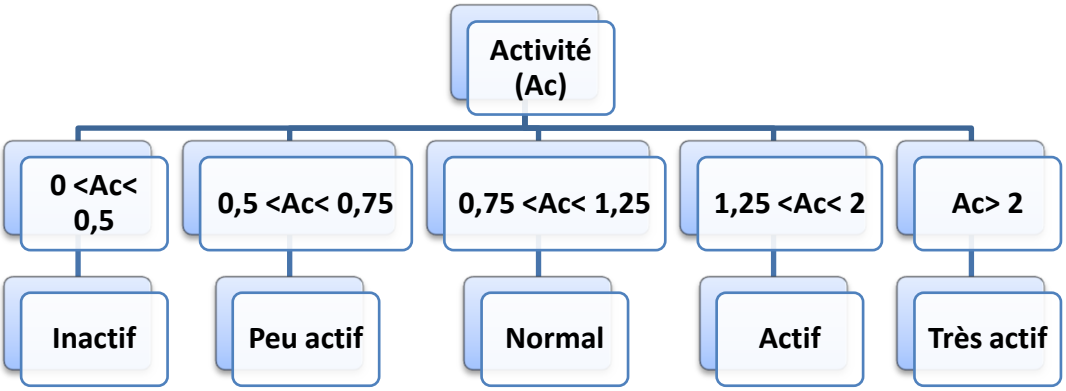


Figure. II.18 : Classe d'activité des argiles (Skempton , 1953).

Les valeurs de l'activité obtenues sont insérées dans la fourchette des argiles d'une activité normale.

IV.2.1.d La limite de retrait (NF-P94 060-1) :

- **Définition :**

Limite de retrait (WR) teneur en eau pondéral conventionnelle de dessiccation d'un terrain remanié, au-dessous de laquelle le volume de l'échantillon est supposé ne plus varier.

- **Expression des résultats :**

$$WR = (mh - \rho w(Vh - Vd)/md) - 1$$

On a :

- mh : masse initial.
- ρw : masse volumique de l'eau à la température d'essai.

Figure. II.19 : Essai de la limite de retrait.

Tableau. II.12 : la valeur de la Limite de retrait des sols étudiés [Annexe.7].

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
WR(%)	32,55	22,48	27,27	24,09

❖ **L'indice de retrait :**

- **Expression des résultats :**

$$I_R = W_L - W_R$$

Tableau. II.13 : Les valeurs de l'indice de retrait.

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
I_R (%)	72,45	53,52	19,73	37,41

IV.2.1.e L'essai de bleu méthylène (NF-P94 068) :

- **Définition :**

Elle représente la quantité de bleu pouvant être adsorbée sur les surfaces internes et externes des particules du sol. La valeur VBS s'exprime en masse de bleu pour 100g de sol.

- **But :**

Mesure la quantité de bleu de méthylène nécessaire pour saturer un sol. Cette derrière est directement liée à la surface spécifique qui est elle-même reliée à l'actinite du sol.

- **Principe :**

Consiste à doser une prise d'essai mise en suspension avec du bleu de méthylène. A saturation, une goutte de la suspension déposée sur papier filtre provoque la formation d'une tâche avec une auréole.

Figure. II.20 : Essai de bleu de méthylène.

- **Expression des résultats :**

VBS=v/m

On a :

- v : volume de bleu ajouté en cm^3.
- m : prise d'essai.
- SST (m^2/g)=20.93*VBS

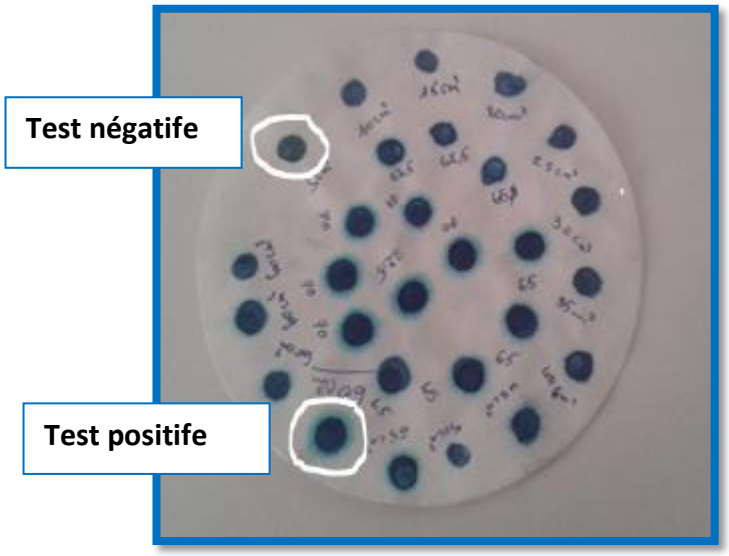


Figure II.21 : Résultats de l'essai de bleu de méthylène.

Tableau.II.14 : Les valeurs de VBS et SST [Annexe.8].

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
VBS	9,75	7,75	3,75	5
SST (m^2/g)	204,07	162,21	78,49	104,65

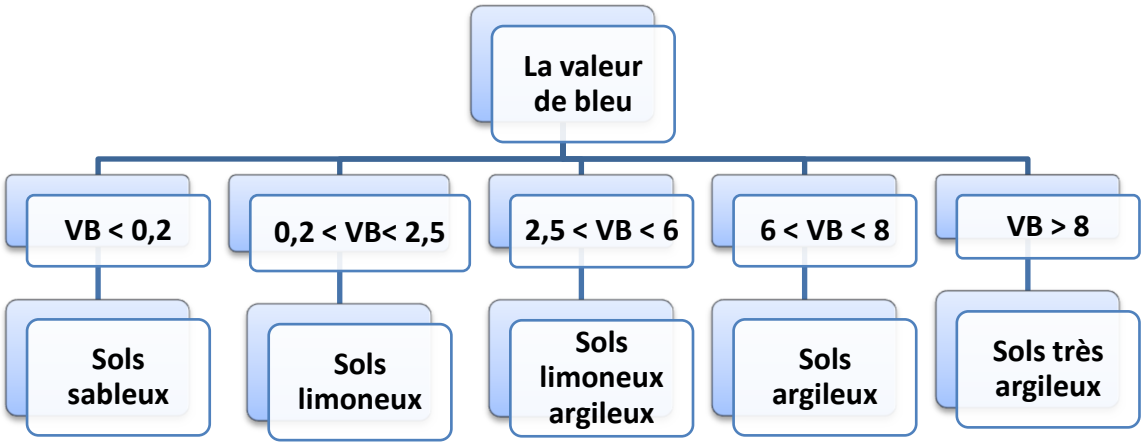


Figure.II.22 : Classification des sols d'après Philipponat

Selon la classification de Philipponat et les valeurs de VB obtenues, les sols de Reggane et Sidi Youcef sont des sols argileux par contre le sol d'Adrar a été classé comme un sol très argileux, mais le sol de Timimoun a été classé comme limon argileux.

IV.2.1.f Le teneur en carbonate de calcium $CaCO_3$ (NF P94-051) :

La teneur en carbonate de calcium $CaCO_3$ 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 $CaCO_3$, exprimée en pourcentage de la masse de la phase solide du sol (Figure.II.23).

Les sols fins contenant du carbonate de calcium peuvent être désignés comme indiqué dans (Figure.II.24) en complément de leur classification géotechnique.

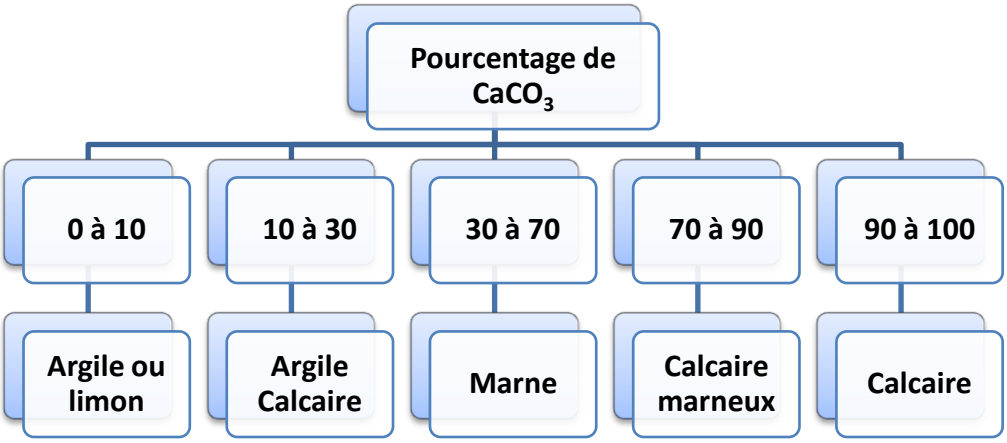


Figure. II.23 : Diagramme Teneur en $CaCO_3$ de quelques sols [16].

En carbonate de calcium $CaCO_3$ est représentée par la formule suivante :

$$\frac{\textbf{Volume de gaz carbonique } (CO_2) \textbf{ dégagé par 0,5g d'échantillon}}{\textbf{Volume de gaz carbonique } (CO_2) \textbf{ dégagé par 0,5g de } CaCO_3}$$

La réaction qui se produit est de forme :

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2CO_3$$

Figure.II.24 : Appareille de Calcimètre Dietrich – Fruhling

Tableau.II.15 : Valeurs de la teneur en carbonate de calcium.

Type d'essais	La région			
	A	A1	A2	A3
$CaCO_3$ (%)	3,6	2,7	4,5	4,6

Les valeurs de la teneur en carbonate de calcium obtenues variant entre 0 et 10.

D'où : les sols étudiés sont des sols argileux ou limoneux.

IV.3 L'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.16 : Composition chimique de l'eau de gâchage utilisé.

Composants	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{++}	Ka^{++}	Cl^{-}	$So4^{--}$
Valeurs (%)	200	150	200	12	500	400

V. Conclusion :

Ce chapitre a été basé sur la présentation des essais des caractérisations des matériaux étudiés et du matériel associé. Les essais effectués sur les argiles montrent que ces argiles sont constituées de l'élément illite, très plastique à peu plastique et leurs activités à l'eau sont normales. La valeur de le poids spécifique mesurée montre que nos argiles contiennent des mélanges de Quartz, Kaolinite, Illite et peut être une montmorillonite. Les essais effectués sur le sable montrent que ces sables sont un sable propre mal gradué, ES variant de 62 à 81, avec module de finesse variant de 0,96 à 1,31 et une valeur de la masse volumique absolue est de l'ordre de 2,50 g/cm^3 et la masse volumique apparente est environ de 1,50 g/cm^3, cela pour les trois sables.

Chapitre III

I. Introduction :

Dans le cadre d'un projet de recherche, un intérêt particulier a été donné aux matériaux terre locaux telle que l'argile. L'objectif de notre étude est de caractérisé les argiles de la wilaya d'Adrar et valoriser dans le secteur des matériaux de terre cuite (Céramique). Nous avons effectué des essais au laboratoire sur les argiles qui ont été prélevées au niveau de quatre gisements.

Le présent chapitre a permis de présenter les résultats des essais, ainsi que les caractéristiques de cuisson à deux températures différentes 750°C et 850°C. Cela ayant pour but d'obtenir les caractéristiques céramiques préliminaires des argiles étudiées.

II. Méthodologie d'étude :

Dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, notre étude s'est concentrée sur le sol argileux comme matériau de base et utilisé le sable de dune comme un dégraissant.

Par ailleurs l'objectif de notre mémoire est Caractérisation et valorisation des argiles de la wilaya d'Adrar en vue de leur utilisation dans l'industrie des matériaux de construction de terre cuite

Notre étude est focalisée sur quatre gisements d'argile telles que les régions d'Adrar, sidi youcef, Timimoun et Reggane, ainsi que trois sables de dune différents.

La figure ci-dessous présente la méthodologie de notre travail (Figure III.1).

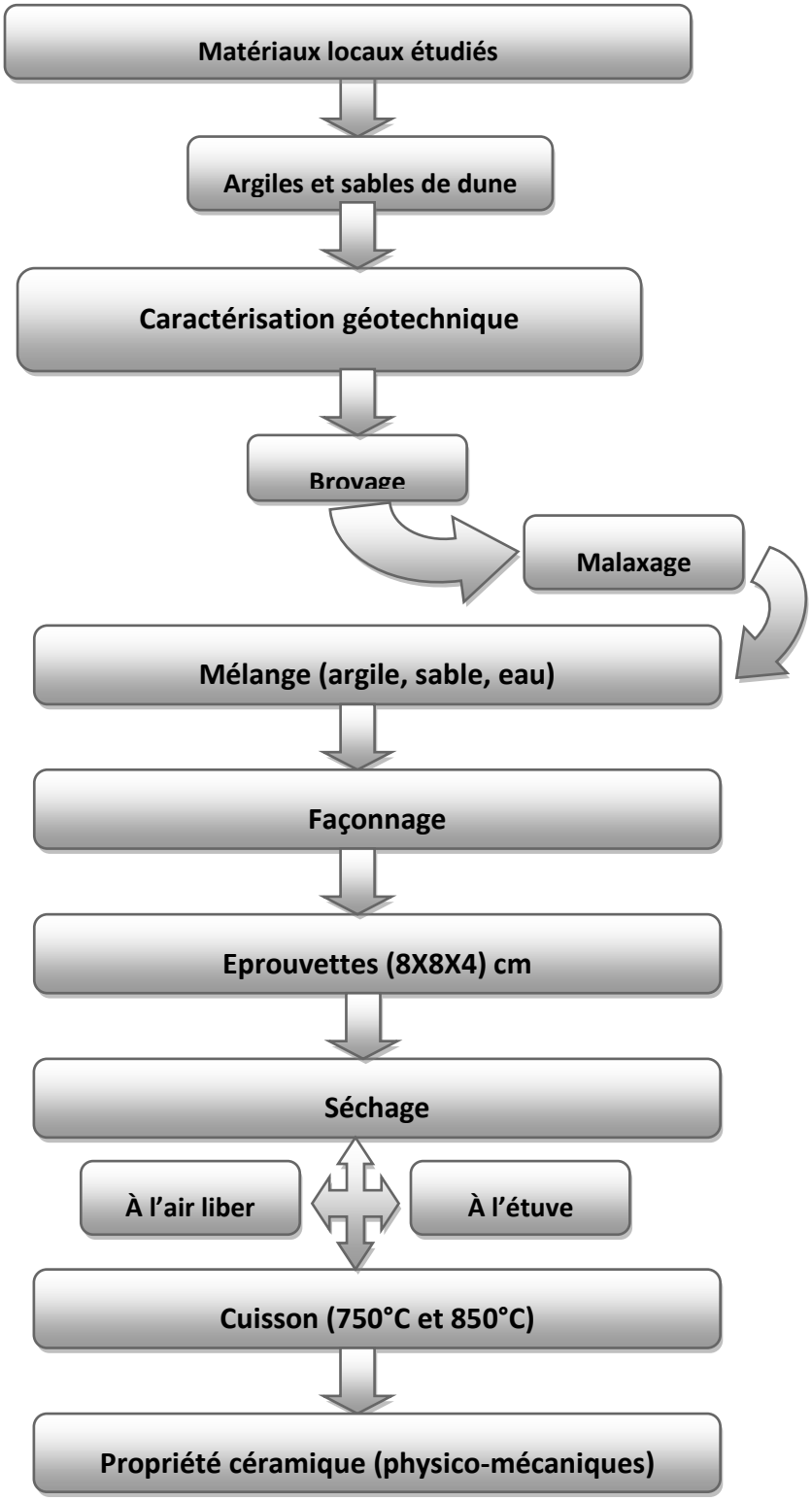


Figure III.1 : Méthodologie d'étude

III. Préparation des éprouvettes :

Pour la préparation des éprouvettes(Briquettes), nous avons procédé aux étapes conventionnelles de préparation des briques de terre cuite :

- Phase d'extraction d'argile
- Phase de préparation des mélanges
- Phase de façonnage
- Phase de séchage
- Phase de cuisson

III.1 Extraction d'argiles :

Dans notre étude, nous avons exploité quatre gisements d'argiles, telle que La région d'Adrar, Timimoun, et Reggane. La figure ci-dessous présente la localisation des gisements d'argiles.

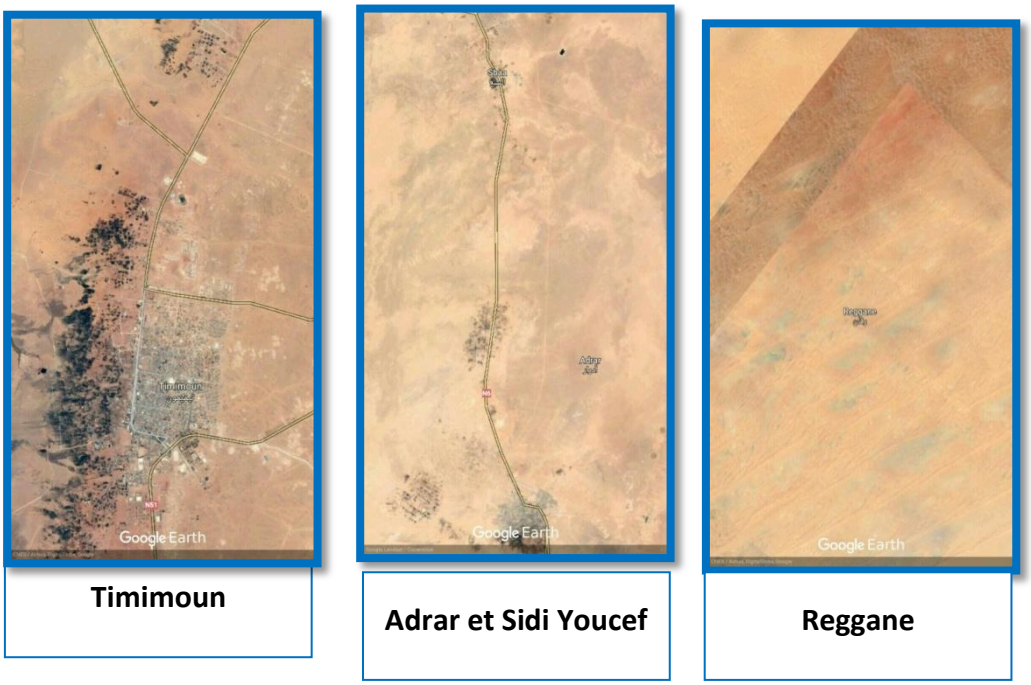


Figure III.2 : Site d'extraction d'argiles

III.2 Préparation de la pâte :

La préparation de la pâte a pour but d'éliminer les cailloux et les impuretés, doser les composants, homogénéiser et humidifier le mélange pour obtenir la bonne plasticité de la pâte. Les moyens simples consistent à piétiner ou à battre la terre. Aujourd'hui la matière première est obtenue par mélange des argiles et des dégraissants dans un broyeur qui rend les grains plus fins (figure III.3)

Par ailleurs, nous avons procédé au broyage de l'argile jusqu'a d'obtenir une poudre d'une fraction inférieure à 125µm.

Figure III.3 : Les étapes de préparation

III.3 Façonnage

Le façonnage donne à la pâte une cohésion suffisante, grâce à l'élimination de l'air occlus dans l'argile et à l'amélioration de l'état plastique de la pâte, soit par mouillage additionnel, soit par une injection de vapeur d'eau. Deux procédés sont principalement utilisés dans l'industrie de terre cuite : le filage (moulage ou extrusion) et le pressage. Le procédé de mise en forme le plus couramment appliqué aux pâtes plastiques est l'extrusion. Elle permet d'obtenir un produit de forme définitive.

Cependant, nous avons effectué la méthode de mouillage additionnel ainsi que le moulage et le pressage cela ayant pour but d'obtenir des briquettes de dimension (8X4X4cm)(figure III.4).

Par ailleurs, nous avons travaillée par les moyens disponibles au niveau de laboratoire de l'université d'Adrar (laboratoire génie civil).

Figure III.4 : Façonnage

III.4 Séchage :

C'est une phase délicate et importante de la fabrication qui doit être minutieusement contrôlée pour éviter des fissurations, des retraits différentiels importants et des distorsions des produits céramiques. Le séchage est réalisé progressivement en contrôlant deux paramètres : la température et l'humidité.

On a procédé au séchage par deux phase, la première c'est le séchage à l'air liber [Figure III.5] afin de perdre graduellement un maximum d'humidité et en suite la deuxième phase c'est le séchage à l'étuve à une température de 80C° [Figure III.6]. Cela ayant pour but d'éliminations totales de différentes d'eaux (eau d'hydratation, d'interposition, et de constitution).

Figure III.5 : Séchage à l'air liber

Figure III.6 : Séchage à l'étuve

III.5 Cuisson :

La cuisson donne aux produits séchés leurs caractéristiques finales adaptées à leur utilisation pour la construction. Cette phase doit répondre à des impératifs techniques et économiques et doit être conduite de façon à obtenir des produits de caractéristiques fonctionnelles satisfaisantes. Il s'agit donc de contrôler plusieurs paramètres qui influencent la phase de cuisson tels que la température, la durée de cuisson et l'atmosphère à l'intérieur du four.

Dans notre étude les éprouvettes ont été cuites dans le four à différentes températures de 750 à 850°C. Les cuissons ont été réalisées suivant des températures croissantes de 750 et 850°C pendant 1h.

Figure III.7 : Cuisson des éprouvettes d'argiles.

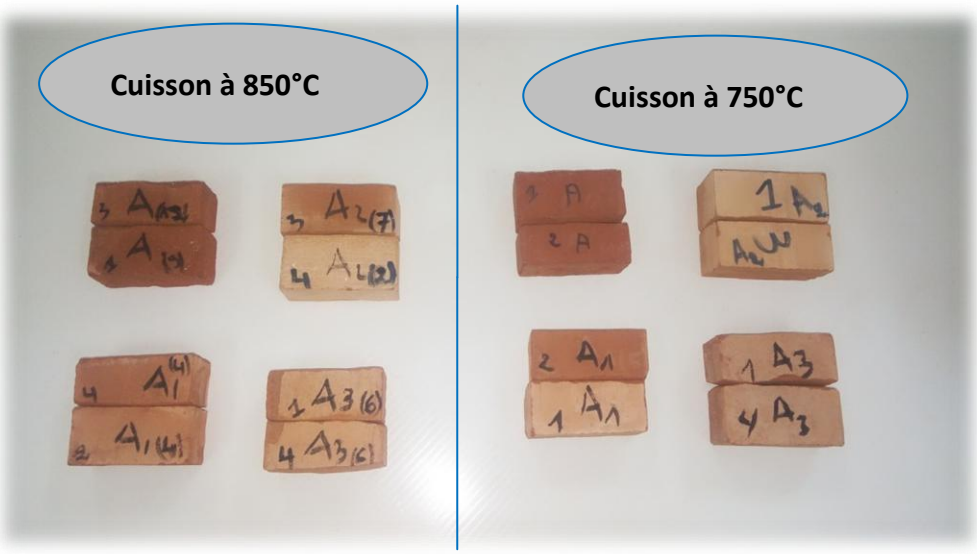


Figure III.8 : Eprouvettes après la cuisson

IV. Résultats et discussion :

IV.1 Propriétés de façonnage et de séchage (Avant la cuisson) :

IV.1.1 La teneur en eau et le séchage des éprouvettes :

Après séchage à l'air libre, les éprouvettes ont continué leurs séchage à l'étuve à 105°C ± 5°C jusqu'à masse constante les pesées ont été réalisées de manière à ce que deux pesées successives de l'échantillon, à une heure d'intervalle, ne différent pas de plus de 0.1 %.

Le tableau suivant regroupe la teneur en eau de la pâte, pendant le façonnage.

Tableau III. 1 : Résultats de la teneur en eau de la pâte.

Régions	A	A1	A2	A3
Teneur en eau de pâte (%)	20,89	20,22	14,75	28,41

IV.1.2 La masse volumique (NA 5022) :

C'est le rapport de la masse d'un corps sur son volume apparent.

La formule suivante permettre de calculer la masse volumique apparente.

$$\rho_{app} = M/V$$

Avec :

- ρ_{app} : Masse volumique de l'éprouvette (g/cm^3).
- M : Masse de l'éprouvette.
- V : Volume de l'éprouvette.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-après :

Tableau III. 2 : Masse volumique apparente après séchage.

Régions	A	A1	A2	A3
ρapp (g/cm^3)	1,82	1,87	2,07	1,98

Les valeurs moyenne obtenues sont insérées dans la fourchette 1,82 - 2,07g/cm^3.

La valeur maximale obtenue est de l'ordre de 2,07g/cm^3 de la région A2.

IV.1.3 Le retrait :

La mesure des dimensions après séchage pour la détermination du retrait au séchage a été faite sur les trois axes des éprouvettes (largeur, longueur, épaisseur) qui ont été en contact avec les parois du moule (Tableau III.3). Le retrait est exprimé par la formule :

$$Rs = ((Vi - V)/Vi) * 100$$

- Rs : retrait au séchage en pourcentage
- Vi : volume initiale
- V : volume d'éprouvettes après séchage

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus de l'essai de retrait pour les quatre argiles étudiées.

Tableau III.3 : Retrait après séchage

Régions	A	A1	A2	A3
Retrait (%)	24,48	25,40	13,30	22,36

Le retrait des trois argiles A, A1 et A3 est de l'ordre de 24%, mais le retrait de l'argile A2 est égal à 13,30%.

IV.1.4 La résistance à la compression :

L'essai de compression simple permet de déterminer la résistance nominale en compression simple des éprouvettes.

La formule suivante permettre de calculer la résistance à la compression.

$$\mathbf{R_c = F/S}$$

Avec :

- $\mathbf{R_c}$: la résistance à la Compression (MPa).
- F : la force appliqué sur l'éprouvette (KN).
- S : la surface de l'éprouvette.

Figure III. 9 : Essai de la résistance à la compression

Tableau III. 4 : Résultats de la résistance à la compression

Régions	A	A1	A2	A3
Rc (MPa)	2,599	2,565	2,325	5,783

IV.2 Propriétés de cuisson à 750°C et 850°C :

IV.2.1 La Masse volumique :

C'est le rapport de la masse d'un corps sur son volume apparent à l'état naturel après cuisson, selon la norme algérienne NA 5022.

Donc :

$$\boxed{\rho_{app} = M/V}$$

Avec :

- **ρapp**: Masse volumique de l'éprouvette après la cuisson (g/cm^3).
- M : masse de l'éprouvette après la cuisson.
- V : volume de l'éprouvette après la cuisson.

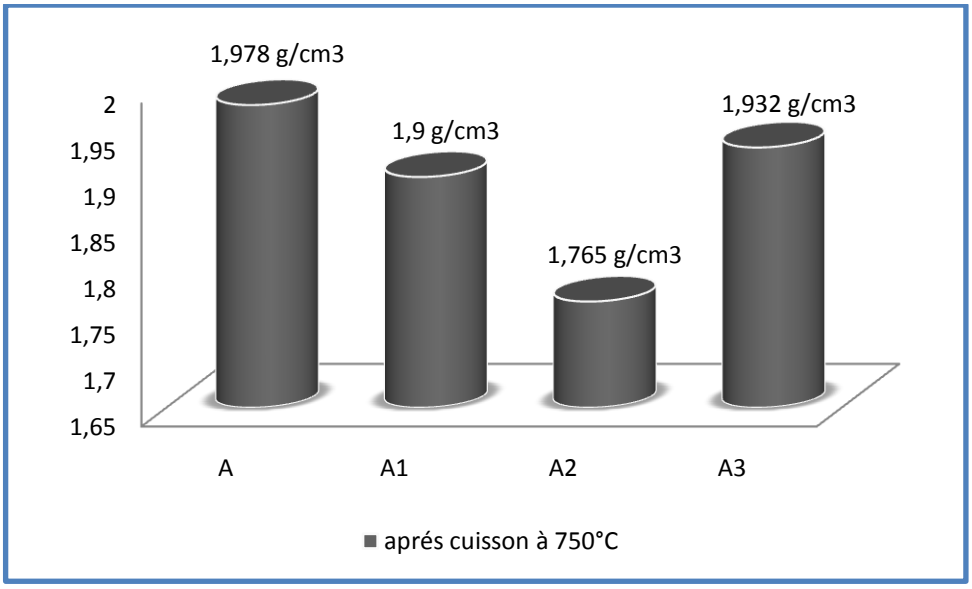


Figure III. 10 : Masse volumique des éprouvettes après cuisson à 750°C

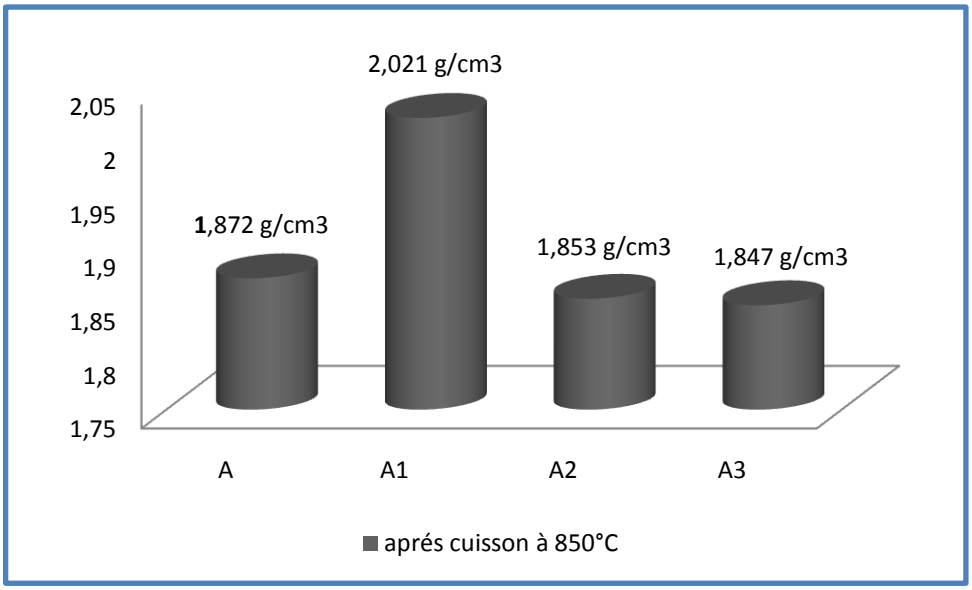


Figure III. 11 : Masse volumique des éprouvettes après cuisson à 850°C.

Le tableau suivant regroupe les résultats obtenus de la masse volumique des argiles analysées (tableau III.5).

Tableau III.5 : Résultats de la masse volumique apparente après la cuisson

	Brique pleine ou perforée [8]	**750C°C**			
		A	**A1**	**A2**	**A3**
ρapp (g/cm^3)	**1,8**	**1,987**	**1,9**	**1,765**	**1,932**
		850°C			
		A	**A1**	**A2**	**A3**
		1,872	**2,021**	**1,853**	**1,847**

Les valeurs la masse volumique obtenues sont variées entre 1,765 à 1,987 g/cm^3, cela pour une température égale à 750°C, par contre les valeurs de la masse volumique sont variées entre 1,853 à 2,021 g/cm^3 pour 850°C.

Donc nous pouvons dire que les valeurs moyennes sont généralement autour de la valeur recommandée.

IV.2.2 Le Retrait :

La mesure des dimensions après la cuisson pour la détermination du retrait à la cuisson a été faite sur les trois axes des éprouvettes (largeur, longueur, épaisseur) qui ont été en contact avec les parois du moule (Tableau III.6).

Tableau III. 6 : Résultats du retrait après la cuisson

	A	A1	A2	A3
le retrait (%) à 750°C	15,405	11,263	5,117	9,467
le retrait (%) à 850°C	1,690	13,235	6,138	5,093

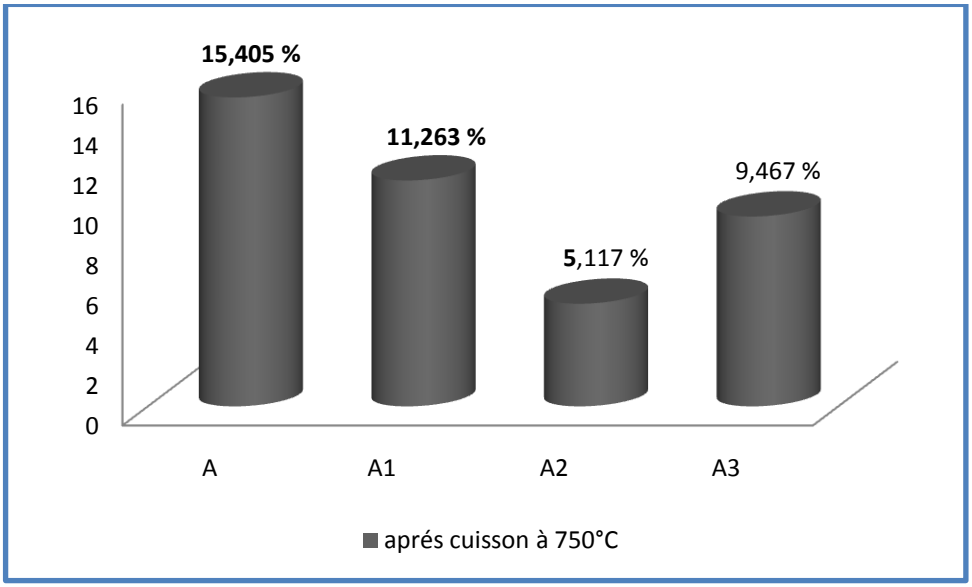


Figure III.12 : Retrait des éprouvettes après cuisson à 750°C.

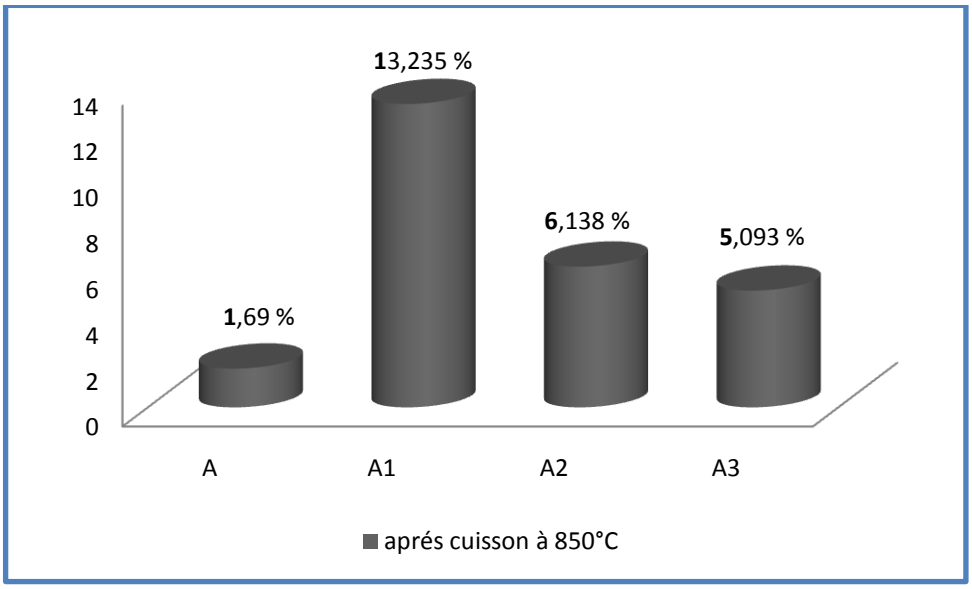


Figure III.13 : Retrait des éprouvettes après cuisson à 850°C.

Les figures III.12 et III.13 montrent que les valeurs du retrait des argiles étudiées A, A1, A2 et A3 en fonction de la température de cuisson.

Cependant, nous avons remarqué que le retrait est varié avec l'augmentation (la variation) de la température de cuisson.

IV.2.3 La résistance à la compression :

Selon les normes NF, nous avons effectué l'essai d'écrasement sur les éprouvettes d'argiles A, A1, A2 et A3 (après cuisson). (Figure III.14).

Figure III.14 : Essai d'écrasement des éprouvettes.

$$\mathbf{Rc} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{S}}$$

On à :

- 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.

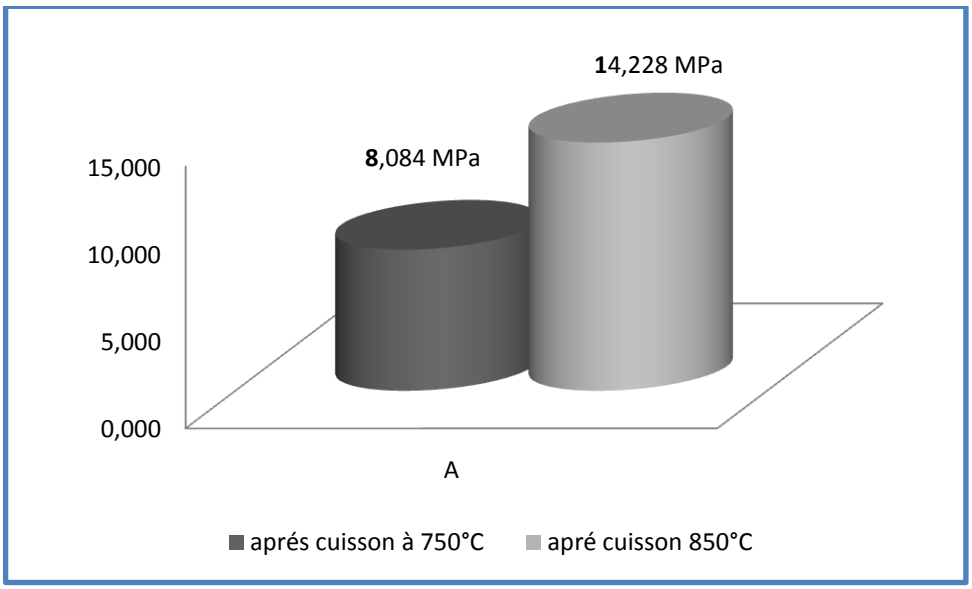


Figure III.15 : Résistance à la compression des éprouvettes d'argile A

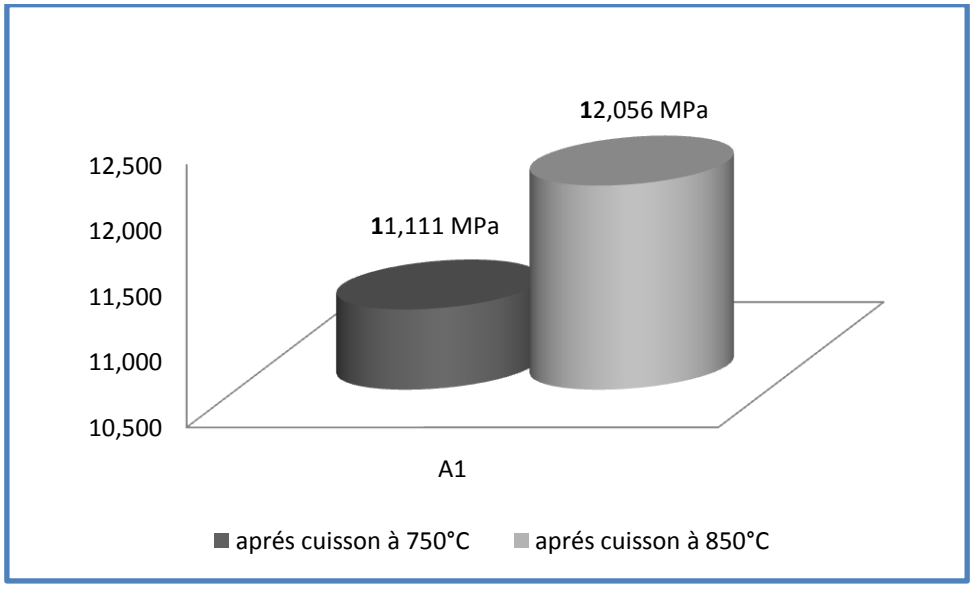


Figure III.16 : Résistance à la compression des éprouvettes d'argile A1

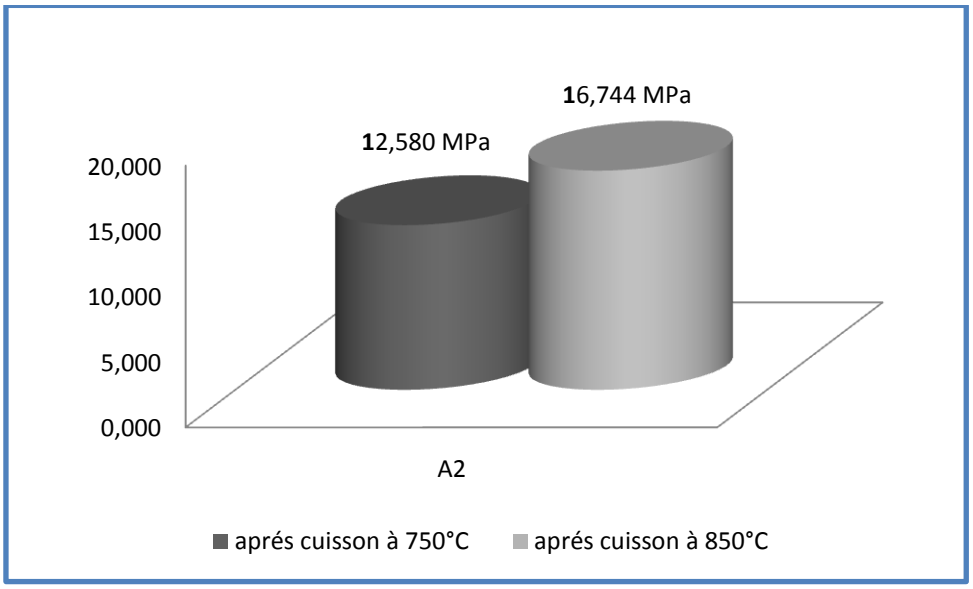


Figure III.17 : Résistance à la compression des éprouvettes d'argile A2

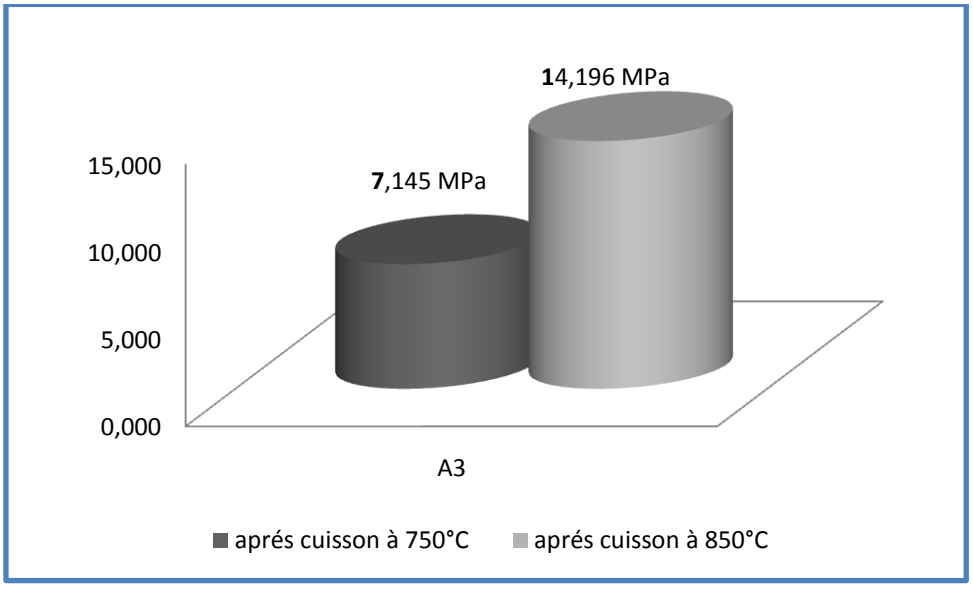


Figure III.18: Résistance à la compression des éprouvettes A3

Tableau III.7 : Résultats de la résistance à la compression.

	Brique pleine ou perforée [8]	750°C			
		A	A1	A2	A3
R_C (MPa)	10 à 40	8,084	11,111	12,580	7,145
		850°C			
		A	A1	A2	A3
		14,228	12,056	16,744	14,196

D'après les figures III.14, III.15 et le tableau récapitulatif III.7, nous avons remarqué que l'augmentation de la résistance à la compression est fonction de l'augmentation de la température de cuisson de 750°C à 850°C.

Donc on peut dire que l'augmentation de la température de cuisson fait une amélioration de la résistance à la compression des argiles étudiées (terre cuite).

Par ailleurs, les valeurs de RC obtenues sont insérées dans la fourchette recommandée. Cela pour la température de cuisson à 850°C

IV.2.4 Absorption d'eau :

L'absorption d'eau par capillarité est le résultat des mouvements capillaires dans les pores de la brique qui sont ouverts au milieu ambiant. Etant une image de la porosité, l'absorption d'eau est donc utilisée comme un des indicateurs importants de la qualité de la brique.

Figure III. 19 : Essai d'Absorption.

Le coefficient C d'absorption d'eau de chaque brique est exprimé par la formule :

$$C = \frac{M}{S * \sqrt{t}} * 100$$

On à :

- M : masse d'eau en gramme absorbée par la brique depuis le début de l'immersion.
- S : surface de la face immergée exprimée en cm^2.
- t : temps en minutes écoulées depuis le début de l'immersion, dans les conditions de l'essai(t=10mn).

Tableau III.8 : Résultats d'absorption des argiles étudiées.

C (%)	**750°C**			
	A	**A1**	**A2**	**A3**
	4,762	**5,595**	**11,078**	**7,240**
	850°C			
	A	**A1**	**A2**	**A3**
	8,613	**5,171**	**15,267**	**7,071**

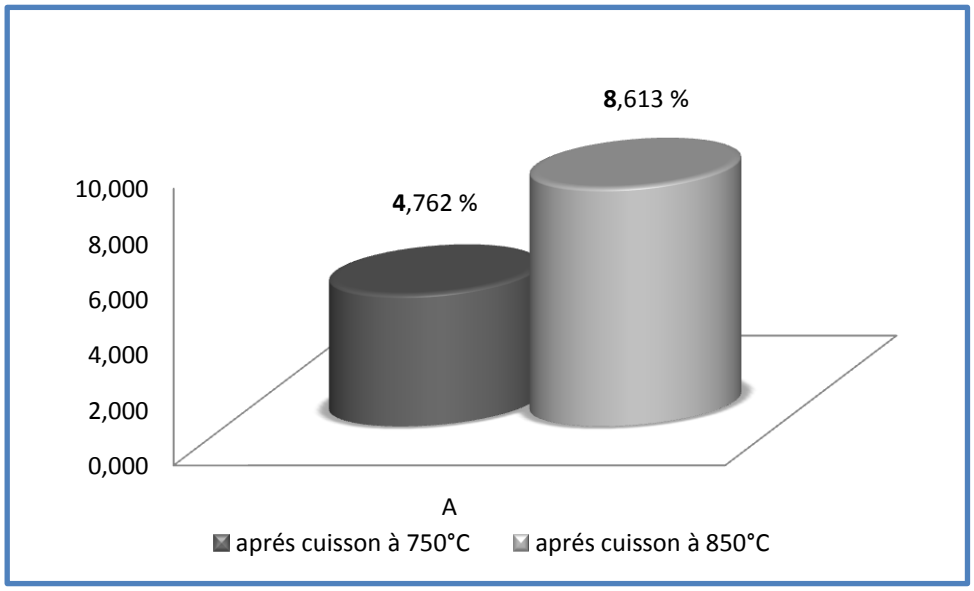


Figure III. 20: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A)

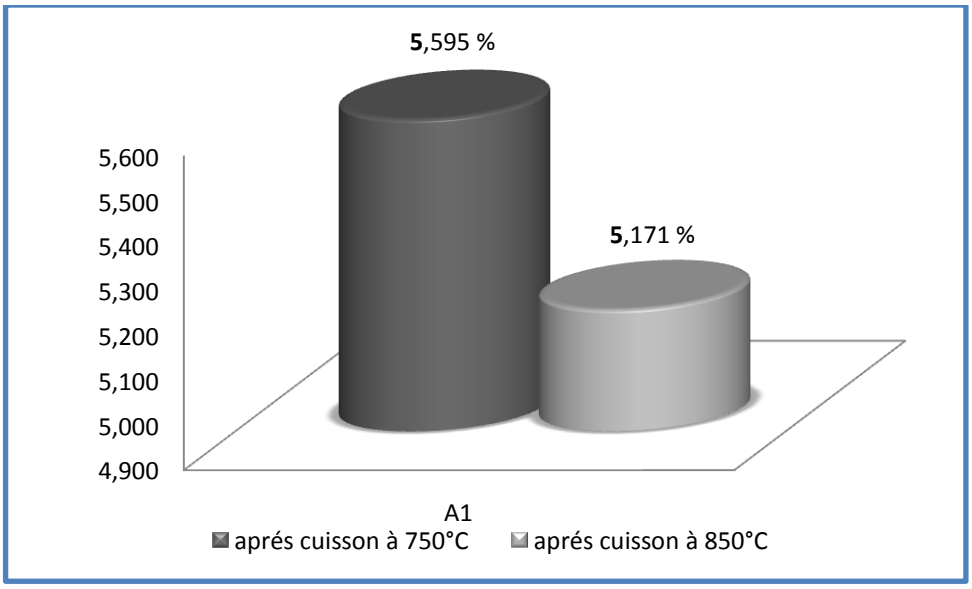


Figure III. 21: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A1)

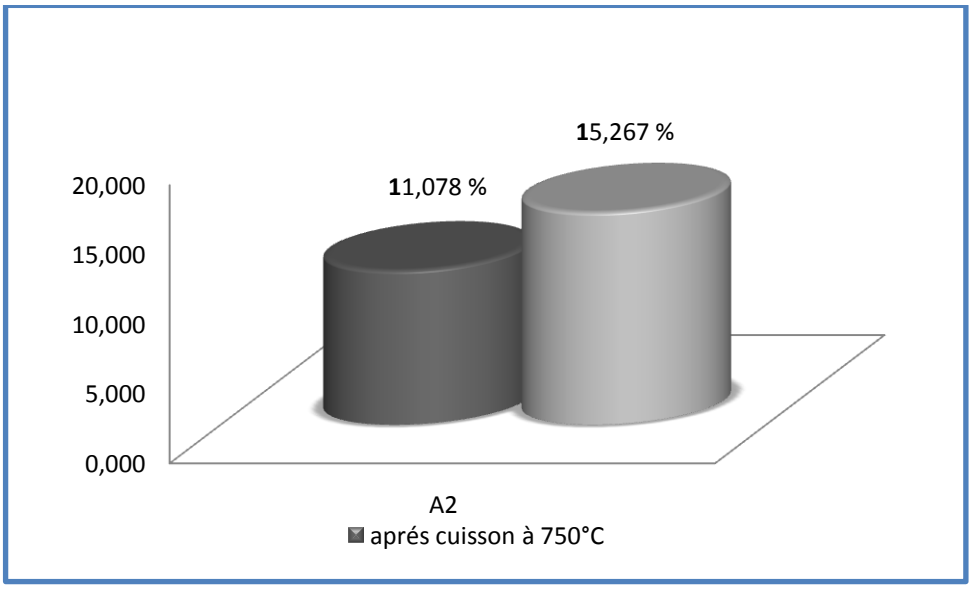


Figure III. 22: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A2).

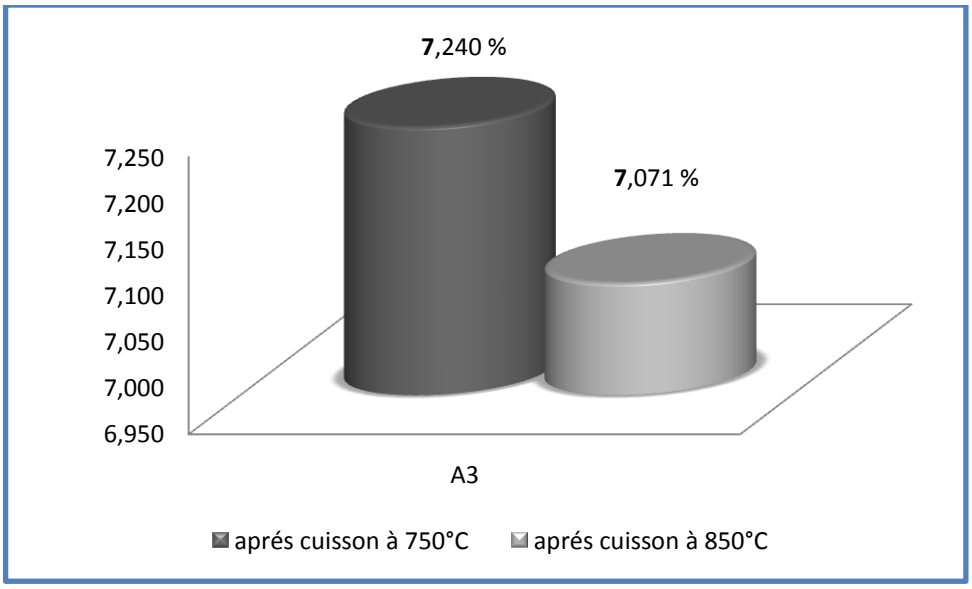


Figure III. 23: Variation de l'absorption en fonction de la température de cuisson (l'argile A3).

Tableau III.9 : Les valeurs recommandées de l'absorption [8].

Nature du produit	C ≤ %
Brique plaine	30
Brique plaine filler à l'étireuse horizontale	40
Brique plaine ordinaire ou presse	60
Brique creuse	15

Les figures III.17 III.18, III.19 et III.20 présentent la variation de l'absorption par capillarité en fonction de la température de cuisson.

Les valeurs de l'absorption obtenues sont généralement variées entre la valeur de 4,762% à 11,078% avec la température de 750°C, et la valeur de 5,171% à 15,267% avec la température de 850°C,

D'où, nous pouvons dire que les valeurs moyennes sont conforme aux valeurs recommandées (Tableau III.9).

V. Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter les paramètres céramiques des différentes matières premières qui entrent dans la composition des briques de terre cuite et d'avoir l'effet de la température sur la résistance, le retrait ainsi que l'absorption sur les quatre argiles utilisées. Nous avons formulé les conclusions suivantes :

Les échantillons d'argiles présentent un bon aspect physique, après séchage lent il ressort ce qui suit :

- **Propriétés de façonnage et de séchage**

a. *Sur le plan céramique* :

➢ Retrait sur sec et humidité de façonnage sont acceptables pour les argiles étudiées.

➢ Résistance mécanique sur sec est faible.

b. *Sur le plan aspect physique* :

- Bon aspect physique.
- Coloration : Rouge.

- **Propriétés de cuisson à 750°C et 850°C**

a. *Sur le plan céramique*

- Le retrait total : Trop élevé
- Absorption : Acceptable
- Résistance : satisfaisante

b. *Sur le plan aspect physique*

- Coloration : Rouge.

Conclusion générale

Dans une perspective de développement local durable, ce travail s'est assigné comme objectif de procéder à la caractérisation des matériaux argileux de la wilaya d'Adrar en vue de leur valorisation dans le secteur de la céramique. Il présente donc un double intérêt, scientifique et industriel, et contribue à la mise à la promotion des matériaux locaux et au développement de ces régions.

Les argiles utilisées dans cette étude proviennent de la wilaya d'Adrar (Adrar, Timimoun, Sidi Youcef et Réggane), ainsi que de sites sableux reste en abondance, à savoir les carrières de Timimoun, Tilouline et Bouda. Dans le cadre de ce travail, nous avons procédé à une caractérisation granulométrique, physique, chimique, et technologiques de ces argiles afin d'évaluer leurs potentialités en industrie terre cuite.

Les argiles de Timimoun, Reggane, Sidi Youcef et Adrar sont caractérisées par des assemblages minéralogiques diversifiés. Ces argiles présentent une forte teneur en argile. La fraction argileuse des échantillons étudiés est dominée par l'illite et la kaolinite. Ces deux types de minéraux argileux sont responsables en grande partie des propriétés céramiques (terre cuite) favorables des échantillons d'argiles étudiées.

Les matériaux argileux étudiés sont généralement constitués de fines particules d'argiles avec une plasticité moyenne à forte.

Les argiles de Timimoun, Reggane, Sidi Youcef et Adrar montrent globalement un bon comportement au cours de séchage.

A la cuisson, les échantillons des argiles montrent que l'absorption d'eau des briques est conforme avec les critères de production des briques à 850C°. Moyennant un ajout correcteur du retrait total excessif.

Finalement une densification importante est remarquée pour la plupart des argiles à des températures de cuisson à 850°C.

Références bibliographiques

[1] : Baptiste ANGER, Caractérisation de sédiments fins de retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière. Thèse de doctorat Université de Caen Basse-Normandie, France, 2014.

[2] : GHANDJOURI Yamina et GHAITAOUI Hanane, "Valorisation des matériaux de la région d'Adrar en technique des BTC stabilisées», Mémoire de Master, Université d'Adrar, 2017.

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

[4] : HIDAOUI Ahlam et LOUANAS Abebdalmonaim, "Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des foggaras de la région d'Adrar ", Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemecen, 2015.

[5] : Les matériaux constructions de terre cuit, document wikipedia, source www technique ingénieur.

[6] : HARRAT Mohamed, "Contribution à l'amélioration du procédé de la fabrication céramique de Touggourt», Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2007.

[7] : Terre cuit et maçonneries https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_(matériau**).**

[8] : SALHI Malek, "Valorisation de terres décolorante dans la produit de brique», Mémoire de master, Université Abderahmane Mira Béjaia, 2015.

[9] : BOUSSAADI AbdEldjalil et BEN ALI Othman, Caractérisation thermomécanique des matériaux local à base d'argile-cas d'argile d'Adrar et Timimoun , Mémoire Master ,Université d'Adrar, 2016.

[10] : DJOUHRI Mohamed, "Confection d'une brique à base sable de dune ", Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2007.

[11] : MEKHEMECHE Abdessalam, "Contribution à l'étude des propriété mécanique et thermique mécanique et thermique des brique en terre en vue de leur utilisation dans la restauration de ksours sahariennes", Mémoire Magister, Université Kasdi Merbah, 2012.

[12] : Fédération Belge De La Brique, « Fabrication de brique », www.brique.be**.**

[13] : AKLA Saad, "Automatisation des convoyeurs du combustible pour les chambres de combustion des séchoirs», Mémoire, Université Sidi Mohamed ben Abdellah, 2013.

[14] : HAKKOUM Soumia, " Etude de caractéristique thermique des en terre cuite traditionnelles dans la région de la wilaya Ouargla", Mémoire Magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 2015.

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

[16] : Pr MEKARTA BelKacem Cours mécanique des sols avancée- géotechnique.

[17] : **ABBOU Mohammed** : Caractérisation des gisements d'argiles de la région d'Adrar, en vue de leur valorisation dans l'industrie des matériaux de construction, 2nd International Congress on Materials & Structural Stability Rabat, Morocco, 22-25 November 2017

[18] : Classification L.P.C. Des Sols Fins

[19] : Groupe EIER-ETSHER, cours de mécanique des soles –Tome1-, institut international d'ingénieure d'eau et de l'énervement, j.m **TCHOUANI NANA** Avril 1999, m.a.j par **CLLAUD** Décembre 2004.

[20] : BERGA Abdelmadjid, éléments de mécanique des sols, Centre Universitaire de Béchar, 2003 – 2004.

Liste de 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 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.

NA 5022 : Masse volumique apparente des produits de terre cuite.

NA 5023 : Résistance à la compression des produits de terre cuite.

Annexes

Annexe 1: les résultats de la masse volumique apparente.

Annexe 2 : les résultats de la masse volumique absolue.

Annexe 3 : résultats de l'équivalent de sable.

Annexe 4 : les les résultats de l'analyse granulométrique.

Annexe 5 : les résultats de la limite de plasticité.

Annexe 6:les résultats de la limite de liquidité.

Annexe 7 : les résultats de la limite de retrait.

Annexe 8:les résultats de da bleu méthylène.

Annexe 1:les résultats de la masse volumique apparente.

	Mt	Mt	Ms	Papp
SDA	3141,5	3469	1539	1,54
	3612,4			
	3653,1			
SDA2	3415	3415	1485	1,49
	3415			
	3415			
SDA3	3460	3455	1525	1,53
	3455			
	3450			

Annexe 2 : les résultats de la masse volumique absolue.

	W1	W2	W3	W4	Ws	VGS	Xs
SD	68,1	170,6	94,9	187	26,8	1	25,8
SD2			93,8	186,2	25,7		25,4
SD3			94,1	186,3	26		25,2

Annexe 3 : les résultats de l'analyse granulométrique.

	Sable dune de Reggane		Sable dune de Timimoun		Sable dune d'Adrar	
Tamis	Rc%	T%	Rc%	T%	Rc%	T%
1,25	0	100	0	100	0	100
0,63	3	97	0	100	9	91
0,5	8	92	0	100	27	73
0,315	26	74	2	98	56	44
0,2	48	52	80	20	63	37
0,16	77	23	94	6	66	34
0,08	99	1	100	0	98	2

Annexe 4: résultats de l'équivalent de sable.

	H1	H2v	H2P	Esv	Esp	Esvm	Espm
SD	10,5	5,5	5,8	0,52	0,55	62	62
	10,3	6,7	6,6	0,65	0,64		
	10,3	7,1	6,8	0,69	0,66		
SD2	10,4	10,1	8,6	0,97	0,83	88	75
	10,3	9,8	7,4	0,74	0,56		
	10,4	9,7	9	0,93	0,87		
SD3	10,8	10,2	8	0,94	0,74	94	81
	10,4	9,9	9	0,95	0,87		
	10,4	9,5	8,5	0,93	0,83		

Annexe 5 : les résultats de la limite de plasticité.

	N	M tares (g)	M résulta (g)	Ps	Ps	W	Wl	Wlm
A	19	9,2	13,4	4,1	4,2	97,62	98,26	96,19
	23	8,4	12,2	3,7	3,8	97,37	96,39	
	26	8,8	13	4	4,2	95,24	95,69	
	35	9,2	14,5	5	5,3	94,34	94,43	
A1	16	9,2	16	5,8	6,8	85,29	85,29	78,07
	25	8,9	15,8	5,5	5	79,71	80,46	
	29	9,3	15,5	4,9	6,2	79,03	75,52	
	35	9,3	15,9	4,5	6,6	68,18	71,01	
A2	18	12,4	23,9	5,6	11,5	48,7	46,8	46,12
	22	11,8	33,3	6,9	14,6	47,26	46,53	
	24	12,5	31,6	6	13,1	45,8	45,58	
	35	12,4	28,5	4,9	11,2	43,75	45,57	
A3	15	12,1	27,9	6,2	9,6	64,58	63,2	62,23
	21	12,6	26,4	5,4	8,4	64,29	62,94	
	24	14,4	26,5	4,7	7,4	63,51	62,05	
	33	14,4	28,8	5,4	9	60	60,71	

Annexe 6:les résultats de la limite de liquidité.

	N	M tarra (g)	M result (g)	Ps	Ps	W	Wl	Wlm
A	19	9,2	13,4	4,1	4,2	97,62	98,26	96,19
	23	8,4	12,2	3,7	3,8	97,37	96,39	
	26	8,8	13	4	4,2	95,24	95,69	
	35	9,2	14,5	5	5,3	94,34	94,43	
A1	16	9,2	16	5,8	6,8	85,29	85,29	78,07
	25	8,9	15,8	5,5	5	79,71	80,46	
	29	9,3	15,5	4,9	6,2	79,03	75,52	
	35	9,3	15,9	4,5	6,6	68,18	71,01	
A2	18	12,4	23,9	5,6	11,5	48,7	46,8	46,12
	22	11,8	33,3	6,9	14,6	47,26	46,53	
	24	12,5	31,6	6	13,1	45,8	45,58	
	35	12,4	28,5	4,9	11,2	43,75	45,57	
A3	15	12,1	27,9	6,2	9,6	64,58	63,2	62,23
	21	12,6	26,4	5,4	8,4	64,29	62,94	
	24	14,4	26,5	4,7	7,4	63,51	62,05	
	33	14,4	28,8	5,4	9	60	60,71	

Annexe 7 : les résultats de la limite de retrait.

	Mh total	mh	md	mhg	Vd	WR	WRm
A	35,4	25,4	13,9	110,6	8,19	23,79	23,55
	34,3	24,9	13,6	108,3	8,02	23,31	
A1	33,9	23,9	12,6	117,5	8,7	22,27	22,48
	33,7	24,3	12,5	113,8	8,42	22,68	
A2	38,6	28,6	19,9	106,9	7,91	27,16	27,27
	38,2	28,8	19,8	106,1	7,85	27,38	
A3	35,7	25,7	15,5	119,8	8,87	24,2	24,09
	34,9	25,5	15,3	109,9	9,9	23,97	

Annexe 8:les résultats de da bleu méthylène.

	M	V	VBS	SST
A	10	97,5	9,75	204,07
A1		77,5	7,75	162,21
A2		37,5	3,75	78,49
A3		50	5	104,65