

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Thème

*Caractérisation et utilisations des différents types
d'argiles dans la fabrication des briques*

Présenté par :

BOUZERIA Ghania & BOUCHILAOUN Assia

Soutenu le 24/09/2022 devant le jury composé de :

Président	Mme N.BOUZIDI	Pr	Univ. de Bejaia
Promotrice	Mme T.TAHRI	MCB	Univ. de Bejaia
Examineur	Mr B.AYADEN	MAA	Univ. de Bejaia

Année Universitaire : 2021-2022

Remerciements

S'il faut beaucoup de motivation, de rigueur et d'enthousiasme pour mener à bien ce mémoire, alors, ce travail de recherche a eu la contribution de plusieurs personnes, que je tiens à remercier.

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener ce travail.

*Notre encadrante, Madame **TAHRI Tourkia** d'avoir accepté de nous encadrer, de sa présence et ses conseils et surtout pour sa confiance et sa patience qu'elle a eu envers nous.*

*Nos remerciements vont aussi pour les membres du jury, la présidente madame **BOUZIDI Nadjima** et l'examinateur monsieur **AYADEN Brahim** d'avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

Nous remercions également les deux directeurs (de la briqueterie de Remila ainsi celle de DPR AXXAM) ainsi qu'à tous les employés.

Nous ne voudrions pas oublier de remercier tous nos amis qui nous ont été d'un soutien que ce soit, moral ou matériel ; et qui ont contribué de près ou de loin à nous aider.



- B.Ghanía & B.Assía -

Dédicaces

*A mes chers parents qui m'ont soutenue et encouragé
durant ces années d'étude toujours à mes côtés pour me
soutenir.*

*A mes frères Amine, Mehdi et Samir pour leurs
encouragements.*

*A mon cher mari pour sa patience et son soutien moral et
qui a été toujours avec moi*

A mon amie Lydia qui était toujours présente à mes côtés.



B.Ghanía -

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes parents, pour tous les sacrifices et toute la patience qu'ils ont consentis et endurés pour assurer mon éducation, qu'ils trouvent ici la marque profonde de ma gratitude, de mon attachement et mon amour.

A mes sœurs, Lyna,amel et à mon frere Saïd , pour leurs encouragement et leurs soutiens.

A mon soutien moral, et source de joie, mon fiancé Anis pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a accordé.

A tout ceux qui mont aider de près ou de loin, en particulier , nihed , faïza, yasmine et ilissa



- B.Assia -

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I

Généralités sur le site d'étude

I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. GÉNÉRALITÉS SUR LES ARGILES	3
I.3. HISTOIRE DES BRIQUES	4
I.4. LES DIFFERENTS TYPES DE BRIQUES EN TERRE CUITE.....	4
I.4.1. Briques ordinaire	4
I.4.2. Brique creuse de terre cuite à perforation horizontale	5
I.4.3. Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés).....	5
I.4.4. Brique réfractaire.....	5
I.4.5. Brique de pavage.....	6
I.5. GENERALITES SUR LE SITE D'ETUDE	6
I.5.1. PRESENTATION DE LA BRIQUETERIE DPR AXXAM	6
I.5.2. APERCUE GEOLOGIQUE DE LA REGION	7
I.6. CARACTERISTIQUES DU GISEMENT DE BOUIRA	7
I.6.1. Localisation géographique	7
I.6.2. Coordonnée du site.....	8
I.6.3. Géologie locale du gisement de Bouira.....	9
I.6.4. Lithologie du gisement de Bouira	9
I.6.5. Réserves géologiques de Taghzout	12
I.6.6. Réseau hydrographique du gisement de Bouira	12
I.7. PRESENTATION DE LA BRIQUETERIE DE REMILA.....	12
I.8. GEOLOGIE DU GISEMENT D'ARGILE DE REMILA	13
I.8.1. Lithologie du gisement de REMILA.....	13
I.8.2. Paramètres d'exploitation minière de la carrière.....	14
I.9. CHAINE DE PRODUCTION DE BRIQUES	14

Sommaire

I.9.1. Extraction	14
I.9.2. Préparation mécanique de la matière première	14
I.9.2.1. Concassage	14
I.9.2.2. Broyage	15
I.9.2.3. Dosage	16
I.9.3. Façonnage	16
I.9.4. Séchage	16
I.9.5. Cuisson	17
A. Zone de préchauffage	17
B. Zone de cuisson	17
C. Zone de refroidissement	17
I.10. CONCLUSION	20

Chapitre II

Matériels et méthodes de caractérisation

II.1. INTRODUCTION	22
II.2. MATIERES PREMIERES	22
II.3. PREPARATION MECANIQUE	22
II.4. METHODES D'ANALYSES	23
II.4.1. Analyse granulométrique	23
II.4.2. Essais mécaniques	24
II.4.2.1. L'essai de flexion	24
II.4.2.2. Essai de compression	25
II.4.3. Spectroscopie infrarouge	26
II.4.4. Diffraction des rayons X	27
II.4.5. Analyses chimiques par FRX	28
II.5. LIMITES D'ATTERBERG	29
II.5.1. Limite de liquidité W_L	31
II.5.2. Limite de plasticité W_p	32

Chapitre III

Résultats de caractérisation des argiles

III.1. INTRODUCTION	35
III.2. CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES	35
III.2.1. Analyse granulométrique	35
III.2.2. Analyses chimiques par FRX	39

Sommaire

III.2.3. Analyse par spectrométrie FTIR.....	40
III.2.4. Résultats de la limite de liquidité	43
III.2.4.1. Pour déterminer la limite de liquidité Wl	43
III.2.4.2. Pour déterminer la limite de plasticité Wp	45
III.3. CONCLUSION	46

Chapitre IV

Fabrication des briques de construction

IV.1. INTRODUCTION.....	48
IV.2. FABRICATION DES BRIQUES DE CONSTRUCTION	48
IV.2.1. La préparation de la pâte des argiles	48
IV.2.2. Façonnage.....	50
IV.2.3. Séchage.....	50
IV.2.4. Cuisson	50
IV.2.5. Refroidissement.....	51
IV.3. CARACTERISATION DES BRIQUES	51
IV.3.1. Essai mécanique des briques	52
IV.3.1.1. Résultats de la résistance à la compression des briques à 850 °C	52
IV.3.1.2. Résultats de la résistance à la compression des briques de 900°C.....	53
IV.3.1.3. Résultats de la résistance à la compression des briques de 950 °C	54
IV.3.1.4. Résultats de la résistance à la flexion à 850°C.....	55
IV.3.1.5. Résultats de la résistance à la flexion des briques à 900 °C.....	56
IV.3.1.6. Résultats de la résistance à la flexion à 950°C.....	56
IV.4. ANALYSES CHIMIQUES PAR FRX DES BRIQUES.....	58
IV.5. ANALYSES PAR DRX DES BRIQUES	59
IV.6. CONCLUSION	62
Conclusion Générale	63
Références bibliographiques.....	65

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

Al: Aluminium

Al₂O₃ : Alumine

Ca: Calcium

CaO : chaux

CETIM : Centre technique des industries mécanique

Cr: Chrome

Cu : cuivre

DPR : Distribution en gros de tous produits phytosanitaire à usage agricole

DRX: Diffraction de rayon

E.L : éléments léger

Fe: fer

Fe₂O₃ : oxyde de fer

IFTR : La spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier

K: potassium

K₂O : oxyde de potassium

KBR : Bromure de potassium

MG : Mélange

Mg: magnesium

MgO : oxyde de magnésium

Mn : manganèse

MPa : Méga Pascal

Na₂O : L'oxyde de sodium

Liste d'abréviation

Ni : nickel

PAF : perte au feu

S: Sulfure

Si : silicium

SiO₂ : Dioxyde de silicium quartz

SO₃ : Le trioxyde de soufre

SOMACOB : Société des matériaux de construction de Bejaia

Sr: strontium

Ti: Titane

WL : Limite de liquidité

WP : Limite de plasticité

X FRX : Fluorescences de rayon

XIR : Spectroscopie infrarouge

Zn : zinc Pb : plomb

Zr : zirconium

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Coordonnées du site Ras Taghzout	8
Tableau 2: Les réserves du gisement de Taghzout [14].	12
Tableau 3: Les intervalles des indices de plasticité [20].	33
Tableau 4: Analyse granulométrique de l'argile de Bouira	35
Tableau 5: Analyse granulométrique de l'argile de Remila.	36
Tableau 6: Eléments chimiques des argiles et du sable par FRX pour les trois échantillons.	40
Tableau 7: Les groupements fonctionnels correspondant observé.....	41
Tableau 8: Calcul de la limite de liquidité 100% argile	43
Tableau 9: Calcul de la limite de liquidité 50% argile, 50% sable	44
Tableau 10: Calcul de la limite de plasticité 100% argile	45
Tableau 11: Calcul de la limite de plasticité 50% argile, 50% sable	46
Tableau 12: Résultats de la résistance à la compression des briques à 850 °C.....	52
Tableau 13: Résultats de la résistance à la compression des briques à 900 °C.....	53
Tableau 14: Résultats de la résistance à la compression des briques à 950 °C.....	54
Tableau 15: Résultats de la résistance à la flexion des briques à 850°C.....	55
Tableau 16: Résultats de la résistance à la flexion des briques à 900 °C.....	56
Tableau 17: Résultats de la résistance à la flexion des briques à 950 °C.....	57
Tableau 18: Teneurs des éléments chimiques des briques.	58

Liste des figures

Figure 1 : Briques pleines et perforées	4
Figure 2 : Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale	5
Figure 3 : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G.....	5
Figure 4 : Brique réfractaire	6
Figure 5 : Brique de pavage.....	6
Figure 6 : Carte de situation géographique du site de Taghzout	8
Figure 7 : Colonne lithologique des sondages (S1 et S2) [14].....	10
Figure 8 : Colonne lithologique des sondages (S3, S4 et S5) [14].....	11
Figure 9 : Stock d'argile concassé (photo prise)	15
Figure 10 : Broyeur à meule (photo prise)	15
Figure 11 : Laminoir dégrossisseur (photo prise).....	16
Figure 12 : Sortie du four (photo prise).....	18
Figure 13 : Schéma de la fabrication de la briqueterie DPR AXXAM.	19
Figure 14 : Eprouvettes aux différents pourcentages d'argile.....	24
Figure 15 : Essai de flexion (photo prise au laboratoire d'une cimenterie à Bouira).....	25
Figure 16 : Essai de compression (photo prise au laboratoire d'une cimenterie à Bouira)	26
Figure 17 : Pastille de KBr	27
Figure 18 : La spectroscopie infrarouge.....	27
Figure 19 : Appareil de DRX au niveau du laboratoire de physique	28
Figure 20 : Appareil de fluorescence x du laboratoire de physique	29
Figure 21 : Appareil de casagrande	30
Figure 22 : Détermination de la limite de liquidité	32
Figure 23 : Détermination des limites de plasticité	33
Figure 24 : Séchage dans l'étuve.....	33
Figure 25 : Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage de l'argile de Bouira.....	37
Figure 26 : Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage de l'argile de Remila.	38
Figure 27 : Granulométrie par tamisage de l'argile de Bouira.	38
Figure 28 : Granulométrie par tamisage de l'argile de Remila.	39
Figure 29 : Eléments chimiques des argiles 1, 2 et du sable.	40
Figure 30 : Spectre infrarouge de l'argile 1.....	42

Liste des figures

Figure 31 : Spectre infrarouge de l'argile 2.....	42
Figure 32 : Spectre infrarouge du sable.....	43
Figure 33 : Teneur en eau en fonction du nombre de coups pour l'échantillon 100% argile	44
Figure 34 : Teneur en eau en fonction de nombres de coups pour l'échantillon 50% argile et50% sable.....	45
Figure 35 : Etapes technologique de l'élaboration des briques	49
Figure 36 : Façonnage des briques	50
Figure 37 : Séchage à l'aire libre.....	50
Figure 38 : Séchage à l'étuve	50
Figure 39 : Cuisson de briques au four du Hall Technologie (photo prise)	51
Figure 40 : Briques cuites.....	51
Figure 41 : Brique cuite à l'argile 100%	51
Figure 42 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression des briques à 850°C . 53	53
Figure 43 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression de brique à 900°C. ...	54
Figure 44 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression de brique à 950°C	55
Figure 45 : Histogramme de la résistance (MPa) à la flexion de brique à 850 °C	55
Figure 46 : Histogramme de la résistance (MPa) à la flexion des briques à 900 °C.....	56
Figure 47 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression de brique à 950°C. ...	57
Figure 48 : Eléments chimique des briques 6, 7 et 8 à la température 900°C par FRX.	59
Figure 49 : Diffraction des rayons X de la brique 6	60
Figure 50 : Diffraction des rayons X de la brique 7	61
Figure 51 : Diffraction des rayons X de la brique 8	61

Introducción General

Introduction Générale

L'homme a utilisé des briques cuites depuis environ 3000 ans AJ ce sont des matériaux de construction fabriqués avec de l'argile préalablement mise en forme à une température appropriée [1].

Les argiles permettent de faciliter le façonnage grâce à leur plasticité, elles sont caractérisées par la présence de minéraux argileux dont les plus importants, sont : les kaolinites, l'illite, les smectites et les chlorites [2] [3].

Les matériaux de charge sont généralement utilisés pour diminuer la plasticité excessive de certaines argiles. Une plasticité importante provoque souvent des difficultés de fabrication (quantité importante d'eau de façonnage, séchage lent et retrait de séchage important). Ils comprennent le sable, la chamotte, les cendres volantes ... etc [4].

Les industriels utilisent souvent des agents formateurs de pores afin de réduire la conductivité thermique de la brique et par conséquent augmenter la résistance thermique des murs en brique, ils permettent également d'augmenter la dureté des briques [5].

En Algérie, la construction en terre à toujours existée. Aujourd'hui, on assiste à un regain d'intérêt pour ce matériau, qui s'explique d'abord par la volonté de réaliser une partie du programme consacrée au logement rural (environ 40%), dans le but d'adapter la législation au nouveau contexte international en matière du développement durable [6].

Notre travail vise à contribuer à la satisfaction de ces besoins, afin de proposer de nouvelles alternatives économiques et applicables à l'échelle industrielle.

L'organisation du manuscrit est faite de la manière suivante :

- Le premier chapitre présente un aperçu général du site d'étude et la chaîne de fabrication des briques ;
- Le deuxième chapitre est consacré aux matériels et méthodes de caractérisation ;
- Le troisième chapitre a porté sur la caractérisation des matières premières (argile de Bouira, celle de Remila et le sable de Boussada).
- Le quatrième chapitre, expose l'étape expérimentale, qui consiste à la fabrication des briques.
- Nous terminons par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I
Généralités sur le site
d'étude

I.1. INTRODUCTION

Les matériaux de terre cuite sont utilisés depuis plusieurs siècles dans le bâtiment. Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs dans le domaine traditionnel, ils sont fabriqués à partir d'argiles communes devenant souvent rouges à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose au jaune et au blanc). [7]

L'Algérie est un pays riche en diverses substances. Le sous-sol algérien contient des ressources minérales telles que les argiles.

Dans ce chapitre on va citer les étapes principales de la fabrication des briques de terre cuite ; ainsi la géologie des gisements d'argile de Bouira et le gisement de Remila.

I.2. GÉNÉRALITÉS SUR LES ARGILES

Le terme « argile » a deux sens, l'un est lié à la taille des particules [8] et l'autre est lié à la minéralogie [9]. Son nom est basé sur la discipline et les domaines de recherche. Ils sont basés sur les propriétés physiques telles que la plasticité, cette dernière dépend de son utilisation ou de sa structure cristalline, car elle est responsable des propriétés particulières des minéraux.

D'une manière générale, l'argile est le matériau sédimentaire produit par la strate de la surface de la croûte terrestre. Ces matériaux sont le résultat d'une dégradation physique ou la substance chimique des minéraux rocheux tels que le granit ou le basalte sous l'action de l'eau surface. Ensuite, ils se déplaceront de différentes manières (eau ; vent) pour s'installer dans le bassin sédimentaire [9].

La structure qu'ils produisent dépend du climat (température et l'humidité), l'altitude, les minéraux présents dans l'environnement et de nombreux facteurs géologiques (éruption volcanique, présence d'eau et de sel, etc.). Dans les climats froids de faible altération, les minéraux argileux et minéraux sont identiques ou peu différents roches (illite et chlorite), elles sont héritées des roches primitives. Dans un climat chaud et humide, lorsque l'hydrolyse se déroule, la kaolinite se forme dans le milieu de drainage et la montmorillonite se forme dans le milieu fermé. Selon la roche mère et le climat, les minéraux argileux produits sont également différents [10].

I.3. HISTOIRE DES BRIQUES

L'origine de la brique remonterait à 7 000 ans avant J. C. dans la région du Tigre et de l'Euphrate. Son utilisation se généralise au III^e millénaire comme matériau de construction avec la sédentarisation de l'homme. L'obligation de se protéger de façon durable des intempéries et des prédateurs impose à l'homme de trouver un matériau dur et résistant. De plus, la brique est aisément réalisable à partir d'argile ou de terre. Les premières maisons en brique ont été découvertes en Irak puis en Mésopotamie et son usage couvre rapidement dans tout le Moyen-Orient [11].

I.4. LES DIFFERENTS TYPES DE BRIQUES EN TERRE CUITE

I.4.1. Briques ordinaire

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 pleine. Selon la norme XP P13 305 la brique pleine ordinaire se compose en deux catégories pleines ou perforés en terre cuite (figure 1) [12].

- **Brique pleine** : brique ne comprend aucune perforation et dont le format d'appellation le plus courant est dimensions : 250*120*55 mm.

- **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 suivantes 250*120*88-65mm. On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35-45 mm et de 17-18 mm les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60 % de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40 % de la section totale.

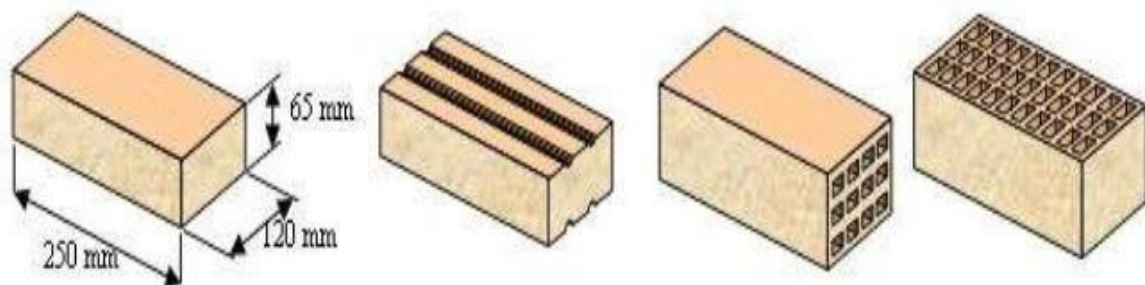


Figure 1 : Briques pleines et perforées

I.4.2. Brique creuse 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 (figure 2) [12].

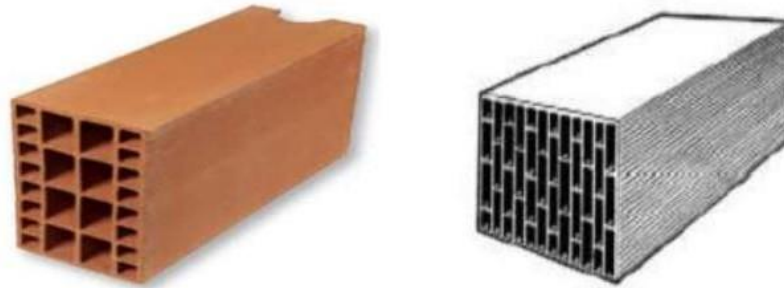


Figure 2 : Briques creuses de terre cuite à perforation horizontale

I.4.3. Brique de terre cuite à perforation verticales (blocs perforés)

Les blocs perforés sont des produits permettant d'une paroi réaliser toute l'épaisseur avec un seul élément, et comportant des perforations perpendiculaires à la face de pose. Leur largeur est au moins de 14cm, et la somme des perforations est égale ou inférieure à 60% de la section totale. Selon leurs caractéristiques thermiques, ces blocs peuvent être soit des blocs normaux soit des blocs de type G (figure 3) [12].



Figure 3 : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G

I.4.4. Brique réfractaire

Autre type, la brique réfractaire qui est davantage utilisée dans la construction de fours ou de cheminées en raison de sa résistance aux fortes températures (jusqu'à 1700 degrés). Et pour cause, la brique réfractaire est matériau très isolant qui conserve la chaleur pour mieux la restituer. Grâce à son excellente inertie thermique, elle chauffe et se refroidit lentement. Cette brique est très peu utilisée pour la construction d'un mur en raison de son coût plus

élevé [12].



Figure 4 : Brique réfractaire

I.4.5. Brique de pavage

Ces briques contiennent une bonne quantité de fer. Le fer vitrifie les briques à basse température. Ils sont utilisés dans les sols des jardins, les trottoirs. Ces briques résistent à l'action abrasive de la circulation, ce qui rend le sol moins glissant [12].



Figure 5 : Brique de pavage

I.5. GENERALITES SUR LE SITE D'ETUDE

I.5.1. PRESENTATION DE LA BRIQUETERIE DPR AXXAM

La briqueterie DPR AXXAM est située à Tizi commune de Semaoun, wilaya de Bejaia a commencé son activité en 2013.

L'activité principale de la société consiste à produire la brique rouge qui est un produit écologique issu de la terre cuite.

La production de la brique rouge est destinée à couvrir le besoin du marché à l'échelle nationale avec une production moyenne de 140 000 t/an [13].

I.5.2. APERCUE GEOLOGIQUE DE LA REGION

Dans la région de Bouira les terrains s'étalent depuis le précambrien jusqu'au quaternaire, c'est dans la région d'Agouni Gueghrane situé au Nord Est de Bouira qu'ont été mis en évidence des affleurements de sédiments d'âge Ordovicien et carbonifère ainsi que des formations métamorphique du protérozoïque supérieur .

Le méso-Cénozoïque se termine par un Eocène carbonaté, Oligo-miocène Kabyle est un miocène carbonaté et terrigène formant de puissant terrain occupant plus de 50% de la feuille de Bouira (versant Nord et Sud de Djurdjura).

Le crêtasse terrigène ou carbonato terrigène est largement représenté sur le versant Sud de la chaîne en le retrouvant localement dans les limites de la partie axiale de la chaîne.

La base de mésozoïque est représenté par un triasse carbonaté terrigène apparaissant localement dans la partie axiale de Djurdjura, le triasse est surmonté par un jurassique carbonaté d'une grande épaisseur formant les principaux contre fort de la chaîne de Djurdjura.

Sur le territoire de la Wilaya de Bouira les travaux antérieurs de cartographie géologique ont mis en évidence un ensemble de terrain méso-cénozoïque ayant des relations plus ou moins complexes [14].

I.6. CARACTERISTIQUES DU GISEMENT DE BOUIRA**I.6.1. Localisation géographique**

Le site d'argile de Taghzout est situé à :

- 25 Km à l'Est à vol d'oiseau de la ville de Bouira
- 4,2 Km au Nord Est de la ville El Adjiba
- 8,7 Km à l'Ouest de M'Chedellah

Il est au sud du massif de Djurdjura, à environ 25 Km du parc national portant le même nom [14].

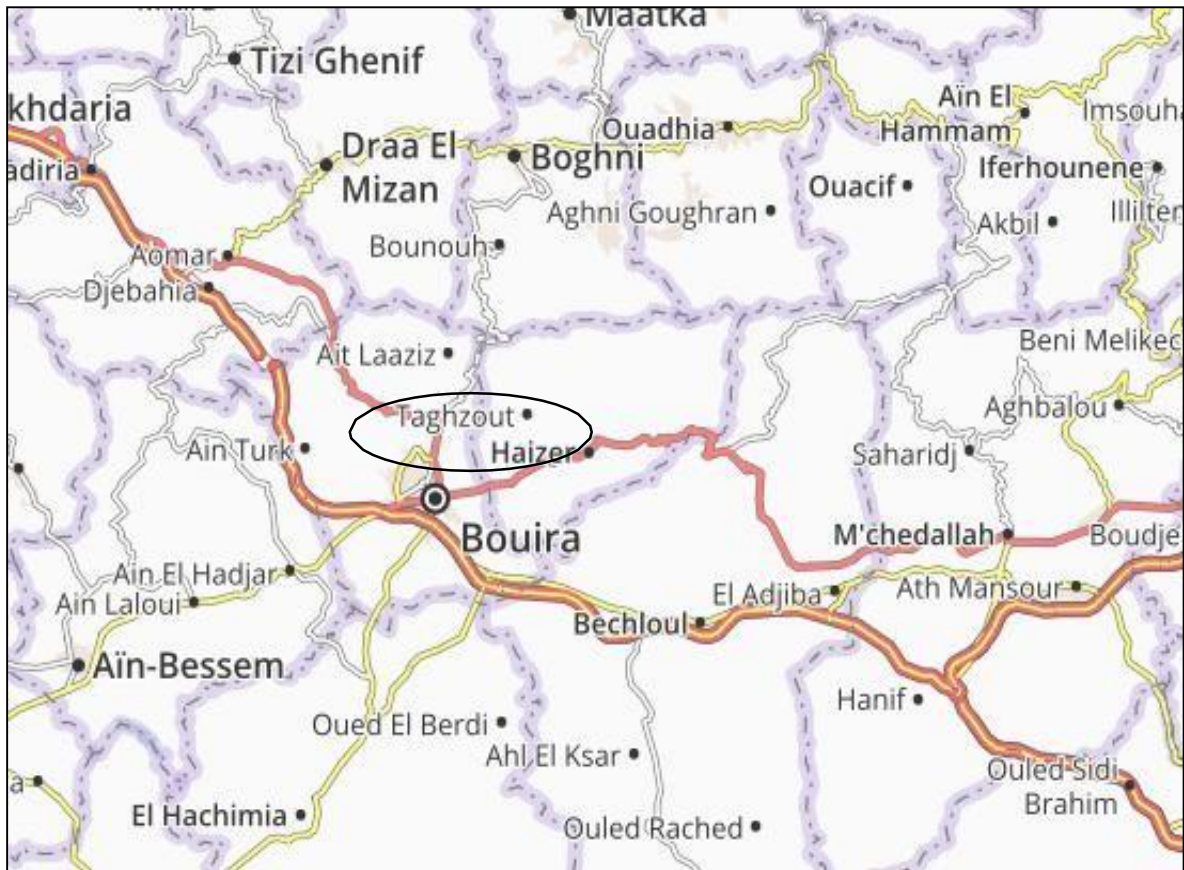


Figure 6 : Carte de situation géographique du site de Taghzout

I.6.2. Coordonnée du site

Le site est d'une superficie de 40 hectares, il est représenté par un rectangle à quatre pointset cotés dont les coordonnées sont représentés dans le tableau suivant [14] :

Tableau 1: Coordonnées du site Ras Taghzout

UTM NS-ZONE 31	
X	Y
604900	4025100
605700	4025100
605700	4024600
604900	4024600
SURFACE = 40 Hectares	

I.6.3. Géologie locale du gisement de Bouira

Le terrain d'étude, moyennement boisé, où l'affleurement principal est l'argile, de différentes couleurs, est sillonné par de nombreux talwegs entaillant le terrain, donnant de ce fait des pentes raides.

Trois variétés d'argile sont rencontrées en se basant par la couleur comme critère : une variété rouille-chocolat, grisâtre à noirâtre parfois verdâtre et enfin rougeâtre.

Cet ensemble argileux affleure sur presque la totalité du site, hormis, quelques endroits où ces variétés argileuses sont surmontées en concordance par des grés parfois grossiers suivitde conglomérats [14].

I.6.4. Lithologie du gisement de Bouira

Des travaux de sondages ont été réalisés verticalement qui sont représentés dans les figures 7 et 8, au nombre de cinq (5), ils ont atteint des profondeurs de 20 à 30m, l'arrêt de sondages a été fait dans des argiles ce qui montre que la puissance de ces derniers est importante et va au-delà de 30m. Il confirme certaines observations de surface et révèle d'autres [14].

- Confirmation des trois variétés d'argiles visibles en surface.
- Ils ont montré que l'argile renferme parfois de nombreux nodules (fragments).
- Présence de petits niveaux de sables.
- Présence de gypse.

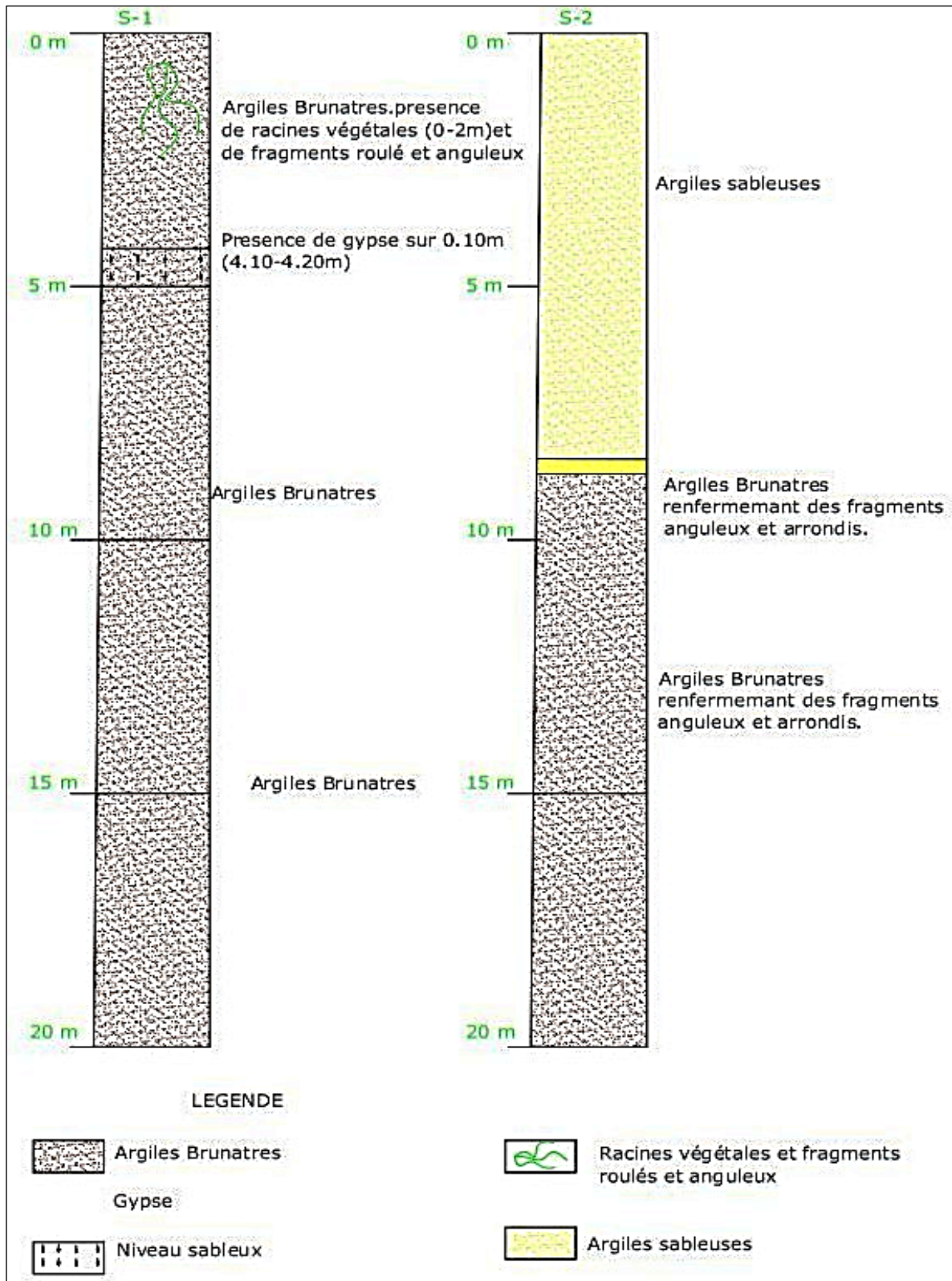


Figure 7 : Colonne lithologique des sondages (S1 et S2) [14].

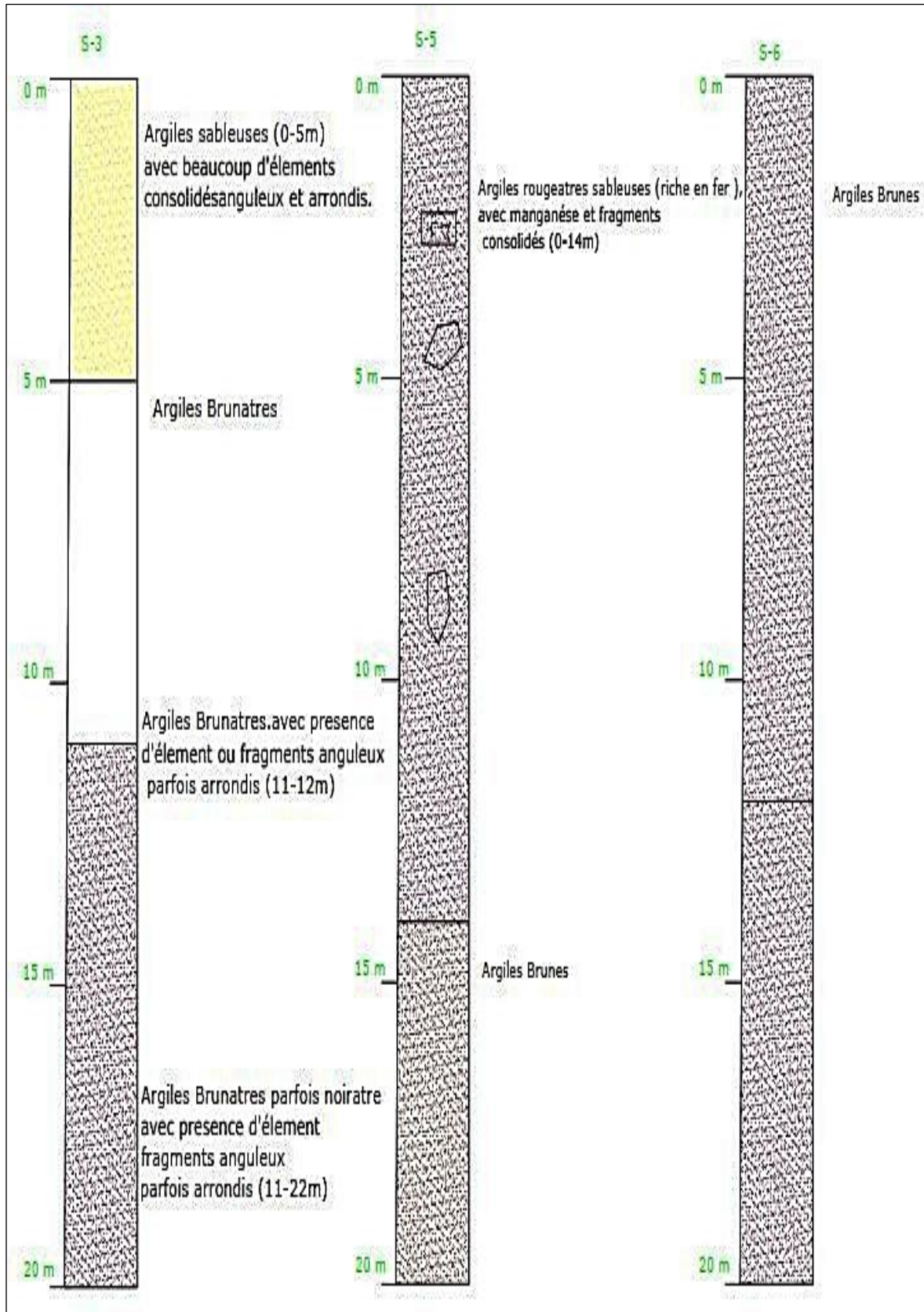


Figure 8 : Colonne lithologique des sondages (S3, S4 et S5) [14].

I.6.5. Réserves géologiques de Taghzout

Les réserves du terrain d'étude ont été calculées par le logiciel Covadis. Le site a été découpé en cinq blocs : cette découpe tient lieu de la manière la plus avantageuse pour l'exploitation du site. Le principe de calcul est le suivant : le logiciel calcul le volume compris entre un plan horizontal choisi et le module numérique de terrain (MNT) autrement dit, il calcule le volume entre le plan topographique et le plan horizontal désiré [14].

Tableau 2: Les réserves du gisement de Taghzout [14].

N° de bloc	Surface (Ha)	Niveaux d'exploitation (m)	Volume (m ³)
Bloc I	7,5	560m-530 soit (30m)	838610
Bloc II	6	530m-500m soit (30m)	1136454
Bloc III	14,5	530m-500m soit (30m)	2386525
Bloc IV	9	510m-490m soit (20m)	622281
Bloc V	3	510m-490m soit (20m)	181850
Total	40 Hectares	//	5165720

I.6.6. Réseau hydrographique du gisement de Bouira

Le relief accidenté du site et ses environs, ont permis le développement d'un dense réseau de ravines. Le site est encadré (à l'Est, Ouest et le Sud) par trois importants oueds dont les plus proches sont situés :

- A environ 920 m du centre de site vers l'Est se trouve : l'Oued EL BERD.
- A l'Ouest à environ 1,2 Km du centre de site : Oued Ighzer.
- Le plus important est au Sud du site à plus de 3 Km : Oued ED Douss appelé Oued Sahel[14].

I.7. PRESENTATION DE LA BRIQUETERIE DE REMILA

La Briqueterie de Remila (société des matériaux de construction Bejaia, SOMACOB) est située à Oued Remila, commune Tinedbar daïra de Sidi Aich, Wilaya de Bejaia a commencé son activité en juillet 2007.

L'entreprise s'est dotée d'une installation ultra moderne répondant aux normes internationales pour la fabrication de la brique rouge. La briqueterie de Remila couvre à

présent un large besoin du marché, avec une gamme de produits de qualités et fiables. Actuellement, l'activité principale de la société consiste à produire de la brique rouge, avec une production moyenne de 200000 t/an.

Les briques commercialisées par SOMACOB sont soumises régulièrement à des contrôles de qualité, et analyses auprès de la CETIM Boumerdes qui garantissent la haute qualité et performance de ses produits [15].

I.8. GEOLOGIE DU GISEMENT D'ARGILE DE REMILA

Bejaia fait partie du domaine tellien : une longue bande créacé orientée approximativement ENE-WEW, qui s'étend sur plus de 150 Km. Cette grande bande manifeste ainsi une barrière souvent infranchissable mais percée de cluses. Les plus célèbres cluses sont les défilés de porte de fer, d'où le nom de chaîne des Bibans.

La géologie de la région peut être résumée par la présence des formations du Trias, Jurassiques, Crétacé et Cénozoïque.

Le gisement d'argile de Remila a fait l'objet d'une étude géologique détaillée par la SNMC (Direction de Recherche et Etude Géologique DREG, 1983). Les travaux de prospection sont menés sur la base d'un réseau de sondages et de creusement de tranchées. Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés ont permis de maîtriser les caractéristiques qualitatives de la matière première.

Les dépôts marins du miocène inférieur (Burdigalien) participent à la constitution de l'assise utile du gisement. Ils sont représentés par des argiles compactes, modérément plastiques, jaunes, grises à gris-jaunâtres. Des grès argileux de 0,1 à 1,5 mètre de puissance sont observés dans les argiles. La partie inférieure renferme des intervalles d'argiles aleuritiques. La puissance totale de l'assise utile argileuse est supérieure à 180 mètres. Quelques intercalations métriques de marno-calcaires y sont rencontrées [15].

I.8.1. Lithologie du gisement de REMILA

Les argiles d'Oued Remila sont homogènes en profondeur comme en surface, la coupe lithologique du gisement (du haut vers le bas) est comme suit :

- De 0 à 0,8 m : terre végétale et limons ;
- De 0,8 à 3 m : zone d'infiltration, Argiles jaunes à précipitations de carbonates ;
- Argile marneuse jaune compacte plus ou moins plastique, de couleur jaune à gris jaunâtre

avec intercalation d'argiles sableuses et grès argileux d'une puissance de 3 à 24 m ;

– Argile marneuse grise compacte avec intercalations d'argiles sableuses rarement de grès argileux (1,5m), traversées par des filonets de gypse subverticaux. Présence de quelques cristaux de pyrite. L'épaisseur de cette strate est de 24 à 18 mètres.

Les argiles du gisement d'Oued Remila se caractérisent par leur stratigraphie stratification monoclinale accusant un angle de pendage moyen de 20 à 45 (moyenne dominante de 30°). L'azimut de pendage des roches varie entre 315 et 350. La présence de grès et d'argile sableuse dans l'assise argileuse témoignent du processus de transgression et de régression qui auraient eu lieu dans la région. Sur le plan tectonique trois directions d'accidents sont identifiées : Nord-Ouest, Nord-Est et Est [15].

I.8.2. Paramètres d'exploitation minière de la carrière

Les réserves géologiques dans les limites du périmètre sont évaluées par la méthode descoupes distantes de 50 m. Le niveau inférieur est situé à 105 m et le niveau supérieur à 210 m.

La largeur minimale de la berme de sécurité est prise égale à 4-5 m, l'angle du bord de la carrière de 30°, 35° et 42° et la masse volumique de la roche de 2,2 t/m.

Les réserves géologiques sur tout le site de la carrière de Remila seront estimées à 8500 000 tonnes [15].

I.9. CHAINE DE PRODUCTION DE BRIQUES

Cette chaîne de fabrication se compose de différentes étapes qui sont les suivantes :

I.9.1. Extraction

Les matières premières le plus couramment utilisées dans la fabrication des produits de terre cuite sont les argiles.

L'extraction se fait à ciel ouvert, la matière première extraite est acheminée à l'usine par camions.

I.9.2. Préparation mécanique de la matière première

La préparation de la matière première (Argile) passe par les étapes suivantes :

I.9.2.1. Concassage

L'argile concassée est transportée par une bande transporteuse vers un endroit de stockage à l'air libre, puis issue et transportée dans des distributeurs doseur de type (Marcheluzzo) qui en détermine la quantité.

Pour une granulation finale fine l'argile, elle doit passer par la machine Brise-mottes

concasseur à mâchoire de type (WMM 412a) [13].



Figure 9 : Stock d'argile concassé (photo prise)

I.9.2.2. Broyage

Ensuite elle passe dans un broyeur à meules de type (Hmi 2170c), ces opérations ont pourbut de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire au moulagedes briques [13].



Figure 10 : Broyeur à meule (photo prise)

I.9.2.3. Dosage

L'argile arrive ensuite dans le laminoir dégrossisseur de type (WF1080°) composé de deux cylindres contre-rotatifs, où l'argile est ultérieurement réduite en couches minces (environ 3 mm) [13].



Figure 11 : Laminoir dégrossisseur (photo prise)

I.9.3. 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.

Le mélange de matière première préfabriqué est prélevé à l'aide d'un distributeur-doseur exécution normal type (Marcheluzzo) et acheminé au moyen des tapis mobiles transporteuses jusqu'au laminoir finisseur (WF10100°) qui le transforme en couches encore plus minces (environ 1.2 mm). Cela fait, l'argile est mélangée, grâce à un mouilleur mélangeur à 2 arbres sans vide de type (MDVG1025) avec de l'eau de façon à lui faire acquérir les caractéristiques de plasticité nécessaires pour terminer le cycle de fabrication [13].

I.9.4. Séchage

La brique formée doit être sécher dans des séchoirs pour but d'évaporer l'humidité du produit, et stabiliser définitivement leur configuration géométrique et donner à ces derniers une résistance mécanique pour pouvoir être empilés sur des Wagons à l'aide d'une empileuse et successivement acheminés à la cuisson. 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 (quelquefois moins).

I.9.5. Cuisson

La cuisson s'effectue dans un four tunnel qui est reparti en trois zones : préchauffage, cuisson et refroidissement.

A. Zone de préchauffage

Dans la zone de préchauffage les gaz brûlés pénètrent à haute température, ces gaz cèdent progressivement leur calories au produits qui s'échauffent et qui sous l'effet de la température dégagent leur vapeur d'eau résiduelle et les produits de décomposition.

Les gaz refroidis de la zone de préchauffage et ceux chargés des éléments de combustion sont évacués par les ventilateurs de tirage qui assurent en permanence la circulation des gaz dans le four.

B. Zone de cuisson

Il existe des rampes de brûleurs elles servent à introduire le gaz mélange avec l'air et aussi maintenir une température de cuisson maximale de 1100°C. Les brûleurs débitent une énergie calorifique qui se répartit dans toute la section de galerie et réchauffe l'air qui assure à refroidir le produit et qui arrive en totalité de la zone de refroidissement, chaque rampe est équipée d'un injecteur d'air et d'une électrovanne de gaz, le réglage de la flamme et du débit d'un brûleurs s'effectue grâce à des vannes de gaz et d'air situés sur le brûleur.

C. Zone de refroidissement

Le ventilateur de refroidissement rapide possède comme rôle d'aspirer l'air ambiant et de l'introduire dans le four à travers des lances latérales, l'air s'échauffe et envoyé dans la zone de cuisson à haute température refroidissement sous wagons il doit fonctionner lorsque la cadence est très réduite. A la sortie du four les briques sont prêtes à la vente.

Pour la bonne régularisation du four les thermocouples de températures ainsi que les baromètres de pression sont installés sur toute la longueur du four pour permettre l'enregistrement des températures et des pressions sur les différentes zones.



Figure 12 : Sortie du four (photo prise).

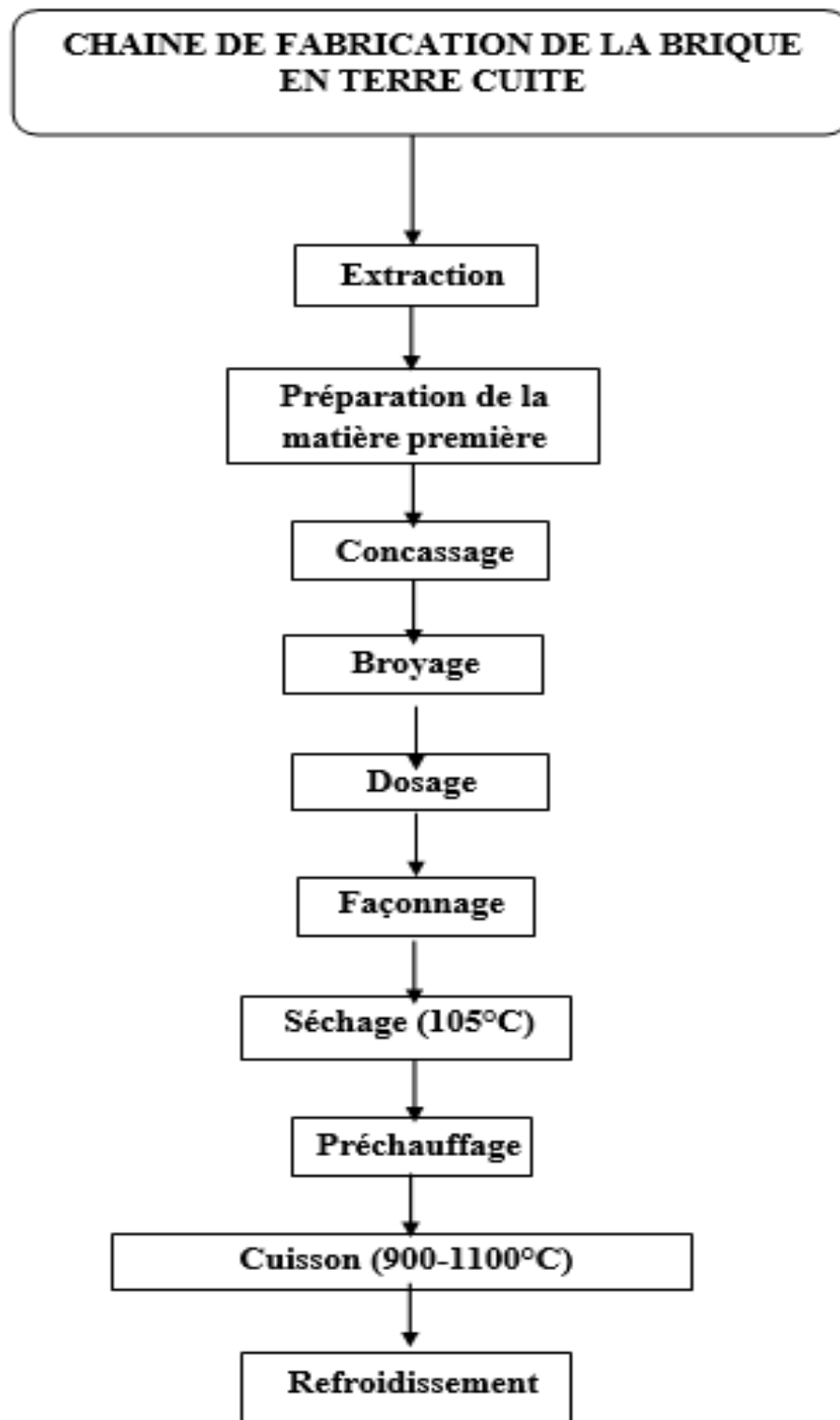


Figure 13 : Schéma de la fabrication de la briqueterie DPR AXXAM.

I.10. CONCLUSION

Dans ce chapitre on conclut que la briqueterie de DPR AXXAM contient trois variétés d'argiles de différentes couleurs (brunâtre, rougeâtre, noirâtre) tandis que la briqueterie de Remila contient (jaune, jaune à gris jaunâtre, rougeâtre).

Les argiles de la briqueterie DPR AXXAM sont caractérisées par la présence du gypse et celles de Remila sont caractérisées par la présence de cristaux de pyrite.

Les réserves géologique de Remila (8 500 000t) sont plus élevées que celles de Bouira (5 165 720t), la briqueterie DPR AXXAM produit en moyenne 140 000 t/an de briques, c'est une production faible par rapport a celle de Remila 20 000 t/an.

Chapitre II
Matériels et méthodes de
caractérisation

II.1. INTRODUCTION

Le sol riche en argile permet la fabrication des briques en terre cuite. Le processus de fabrication des terres cuites actuel est globalement identique à celui du XIX^{ème} siècle ; seules les machines et les coûts énergétiques ont été adaptés.

Dans ce chapitre on parlera des techniques d'échantillonnage des analyses des matériaux utilisés dans la fabrication de la brique, et parmi les caractéristiques qui nous intéressent à savoir sont les caractéristiques granulométriques, chimiques et physiques. Cette caractérisation a été réalisée par plusieurs méthodes : analyses minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX) et des analyses chimiques par fluorescence X (FX), l'Infrarouge (IR), et d'analyse granulométrique, limite d'Atterberg et des analyses mécaniques.

II.2. MATIERES PREMIERES

Les échantillons de l'argile et du sable de Bouira ont été prélevés sur les stocks des argiles de la briqueterie DPR AXXAM et l'échantillon de l'argile de Remila a été prélevé sur le stock d'Oued Remila.

II.3. PREPARATION MECANIQUE

Les matières premières sont extraites généralement des carrières subissent une préparation préliminaire avant incorporation dans le mélange (enlèvement d'impuretés, concassage, broyage, etc...).

La matière première est soumise à un traitement mécanique qui consiste en des opérations d'homogénéisation, de concassage, de quartage et de tamisage.

La matière première subit un concassage jusqu'à 2mm, une homogénéisation et ensuite une série de quartage jusqu'à l'obtention d'un échantillon de base (0 - 2 mm).

Les différentes classes granulométriques obtenues après l'analyse granulométrique par tamisage à voie sèche a été réalisé à l'aide d'une tamiseuse vibrante de marque FRITSH. Elle est équipée d'une série de tamis de norme. Le temps de tamisage est fixé à 10 minutes, amplitude 7.

Le broyage (< 100 µm) a été réalisé sur un broyeur à mâchoires de marque Fritsch, RM200. Les conditions de broyage (de la matière concassé) utilisées sont : temps de broyage 10 minutes et vitesse de rotation 900 Tr/minute.

II.4. METHODES D'ANALYSES

II.4.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique joue un rôle déterminant dans la composition du mélange. En effet, elle permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

➤ **But de l'essai**

Le but de l'analyse granulométrique est d'étudier la taille de ces particules et de mesurer l'importance relative de chacune des fractions du sol de dimensions bien définies : gros éléments, graviers, sable, limon, argile.

➤ **Principe de l'essai**

Il consiste à faire passer un échantillon de sol à travers différents tamis de diamètre décroissant et de peser le refus de tamisage de chaque tamis pour pouvoir tracer la courbe granulométrique à fin de classer notre sol. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

La caractérisation de la granulométrie d'un matériau se fait à l'aide de 2 coefficients :

Coefficient d'uniformité

$$Cu = D_{60} / D_{10}$$

$Cu > 2$ → granulométrie étalée.

$Cu < 2$ → granulométrie uniforme ou serrée.

Coefficient de courbure

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$$

$1 < Cc < 3$ → matériau bien gradué (la continuité est bien répartie) → matériaux plus dense.

$Cc < 1$ ou $Cc > 3$ → matériau mal gradué (la continuité est mal répartie).

II.4.2. Essais mécanique

On prépare les éprouvettes qui sont soumises à des essais de flexion et de compression, pour déterminer la qualité des briques, suivant les critères d'évaluations selon l'échantillon témoin (100% argile, 80% argile, 60% argile, 40% argile), une étude comparative a été menée pour déterminer la meilleure performance mécanique.

La figure 14 montre les éprouvettes aux différents pourcentages d'argile.



Figure 14 : Epreuves aux différents pourcentages d'argile

II.4.2.1. L'essai de flexion

L'essai de flexion trois points est le plus largement utilisé pour déterminer la rigidité et résistance à la flexion des matériaux composites. Le test est facile à réaliser et de bonne reproductibilité. Pour les essais de compression, nous appliquons une charge F progressive sur la face supérieure de notre échantillon jusqu'à la rupture du prisme afin d'obtenir la charge de rupture à partir de laquelle on peut calculer la résistance à la flexion à l'aide de la formule:

$$R_f = (1.5 \times F_l \times P) / H^3$$

R_f : est la résistance à la flexion ;

F : est la force appliquée en N ;

P : Longueur qui sépare les deux appuis égale à 100 mm ;

H : Côte de l'éprouvette est égale à 40 mm.



Figure 15 : Essai de flexion (photo prise au laboratoire d'une cimenterie à Bouira)

II.4.2.2. Essai de compression

Mode opératoire

- Couper les blocs en deux, les superposer et les coller par une fine jointe de mortier (1cm max.) en les humidifiant légèrement ;
- Laisser sécher l'éprouvette 2 à 3 jours à température ambiante ;
- Placer une membrane de Néoprène graissée sur une plaque en Téflon et disposer le tout sur le plateau inférieur de la presse (cet ensemble constitue un système anti-fretage qui autorise les déplacements transversaux libres de l'échantillon (Figure 16).



Figure 16 : Essai de compression (photo prise au laboratoire d'une cimenterie à Bouira)

II.4.3. Spectroscopie infrarouge

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est une technique d'analyse physico-chimique qui permet de donner des informations sur les liaisons entre les noyaux atomiques et leurs arrangements. Cette méthode permet d'accéder directement à

l'information moléculaire, à la nature chimique et à l'organisation structurale des matériaux analysés [16].

Un échantillon solide est broyé avec du bromure de potassium (KBr), qui est transparent dans l'IR, et pressé sous forme de pastille, ou préparé en fine lame et placé entre deux fenêtres KBr.

Matériels :

- Une balance pour peser l'échantillon ;
- Spectroscopie infrarouge pour analyser et identifier les espèces chimiques ;
- Pastille pour accueillir la molécule à analyser ;

- Moule pour avoir la forme de la pastille ;
- Cuillère ;
- La presse.



Figure 17 : Pastille de KBr



Figure 18 : La spectroscopie infrarouge

Mode opératoire

- On a pesé 80 mg de kbr, et 1.7mg de notre échantillon ;
- On a ensuite mélangé les deux matières, et on les a broyé afin que le mélange soit bien homogène ;
- On place le mélange dans le moule entre deux disques, puis on va se servir de la presse, on va presser à une pression de 75Pa ;
- Une fois qu'on la presser on enlève la pastille, on la place dans la spectroscopie infrarouge.

II.4.4. Diffraction des rayons X

La méthode d'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX) est utilisée généralement pour l'identification des différentes phases minérales cristallines contenues dans un échantillon solide (roches, cristaux, minéraux, argiles, etc...). Cette technique est utilisée dans cette étude pour déterminer les phases cristallines présentes dans les briques cuites. Elle a pour principe de bombarder l'échantillon à analyser par faisceau de rayons X en parcourant un intervalle d'angle de réflexion 2θ et à mesurer, au moyen d'un détecteur, l'intensité des rayons X diffractés à un angle précis. Les résultats de cette technique sont représentés par des diffractogrammes où l'intensité de chaque pic est fonction de la position

20. En se basant sur la loi de Bragg [17].

Pour effectuer une analyse de DRX, on procède de la manière suivante :

- Broyage de l'échantillon ;
- Préparation de perles ou pastilles. En effet, lorsqu'un échantillon est bombardé par des rayons X, ce rayonnement provoque l'émission de son spectre. Ce spectre est appelé diffraction par rayon X (DRX) car le mode d'excitation concerne les photons ;
- L'analyse radio-cristallographique des échantillons à température ambiante dans un domaine angulaire 2θ allant de 10 à 80° avec un pas angulaire de 0,01 degré a été réalisée à l'aide d'un diffractomètre type RIGAKU, Miniflex du laboratoire bloc de recherche ;
- L'identification des phases (dépouillement) a été réalisée par une recherche automatique en se basant sur des fichiers ASTM (American Society of Testing and Material) [18].



Figure 19 : Appareil de DRX au niveau du laboratoire de physique

II.4.5. Analyses chimiques par FRX

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon solide, les liquides, des boues et des poudres libres. Il permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration.

Le principe de cette méthode est de bombarder le matériau à analyser avec un atome. Faisceau de rayons X, qui provoque une émission secondaire de rayons X. Le spectre de rayons X émis montre les pics caractéristiques des différents éléments existants dans l'échantillon.

Son but est de déterminer la composition élémentaire de l'échantillon de manière qualitative et quantitative, c'est-à-dire de déterminer la nature et la quantité des atomes qui sont présents dans l'échantillon.

La Spectrométrie de fluorescence X contrairement à la diffraction des rayons X ne permet pas d'accéder à la structure cristalline des matériaux.



Figure 20 : Appareil de fluorescence x du laboratoire de physique

II.5. LIMITTES D'ATTERBERG

Compte tenu de leur structure, les argiles ont la propriété d'absorber des quantités d'eau très importantes ou au contraire, de se dessécher, ceci en fonction des conditions d'humidité auxquelles elles sont soumises.

Les limites d'atterberg ou les limites de consistance sont les états qui délimitent les états de consistance d'un sol. On distingue deux types de limites :

- La limite de plasticité WP
- La limite de liquidité WL

La différence entre les deux correspond à l'indice de plasticité IP. La limite de plasticité w_p est la teneur en eau qui sépare l'état plastique de l'état semi-solide. La limite de liquidité WL quant à elle permet de séparer l'état liquide de l'état plastique [19].

Appareillage nécessaire

Pour la préparation de l'argile

- Concasseur à mâchoires est utilisé pour le concassage grossier de l'argile dans un concasseur de laboratoire ;
- Broyeur planétaire utilisé pour broyer l'échantillon concassé jusqu'à une finesse analytique dans un broyeur de laboratoire ;
- Tamis à mailles carrées de 100 μ m pour séparer le matériau en fraction granulaire ;
- Récipient utiliser pour mélanger et homogénéiser l'échantillon ;
- Une balance utiliser à fin de peser l'échantillon ;
- Appareil de casagrande permet de déterminer la teneur en eau d'un sol au point de transition entre l'état plastique et l'état liquide.

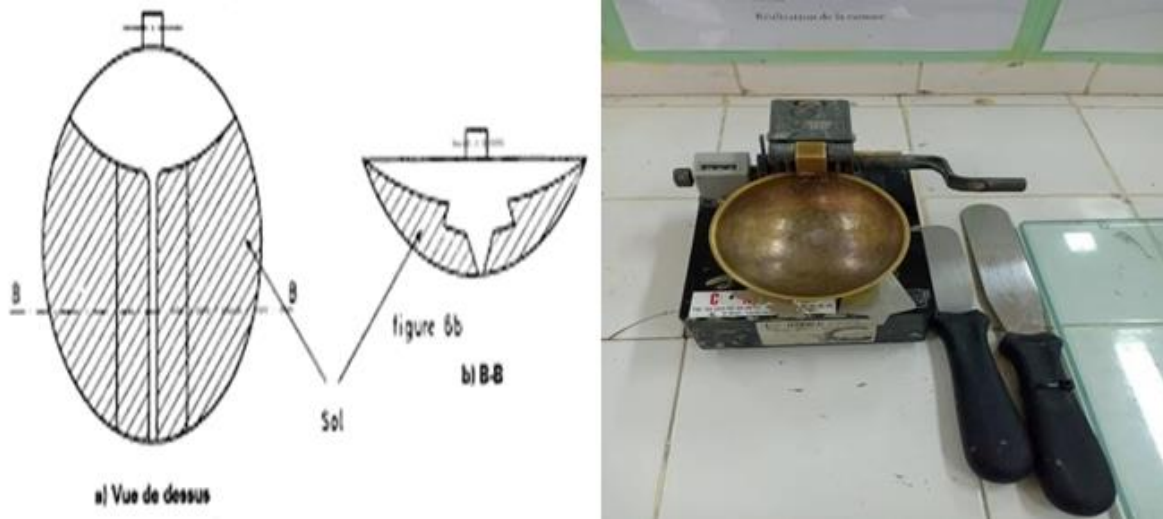


Figure 21 : Appareil de casagrande

Il est constitué d'une coupelle normalisée montée sur un support, et muni d'une manivelle qui transmet et transforme un mouvement rotatif en translation, l'ensemble permet d'imprimer un cycle de chute de 10mm de hauteur sur le socle et ainsi de refermer progressivement une rainure qui est pratiquée dans l'échantillon à l'aide de l'outil à rainurer. L'appareillage est conforme à la norme NF P94-051.

II.5.1. Limite de liquidité W_L

Mode opératoire

- On prend 200g de d'argile qu'on mouille avec de l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte molle ;
- On l'étale dans le bol, de manière à avoir une épaisseur à peu près constante, de 1 cm, avec une surface horizontale sur le pourtour ;
- à l'aide de l'outil à rainurer on trace une fente au milieu séparant ainsi la pâte en deux ;
- On tourne la manivelle jusqu'à ce que les deux bords se rejoignent sur 1cm et on observe le nombre de coups ;
- On recommence l'opération pour obtenir 3 valeurs telles que le nombre de chocs soit compris entre 15 et 35 ;
- On prélève pour chaque échantillon un peu de mortier dans la coupelle ;
- On pèse immédiatement pour obtenir P_h < masse humide > ;
- On place l'échantillon dans l'étuve à 102°C pendant 24h pour obtenir un poids stable ;
- On pèse l'échantillon sec à la sortie de l'étuve puis on calcule la teneur en eau W :

$$W = \frac{P_h - P_s}{P_s} \dots \text{Eq (1)}$$

$$W_L = W (N/25)^{0,121} \dots \text{Eq (2)}$$

$$W_L = (W_{L1} + W_{L2} + W_{L3})/3 \dots \text{Eq(3)}$$

W : teneur en eau (en %).

P_h : poids de l'échantillon humide.

P_s : poids de l'échantillon sec.

La limite de liquidité est la relation qui lie le nombre de chocs N à la teneur en eau w . On constate que la courbe représentative de cette relation est une droite en coordonnées semi logarithmiques (échelle arithmétique pour les teneurs en eau, logarithmique pour le nombre de chocs). Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une fermeture en 25 chocs.



Figure 22 : Détermination de la limite de liquidité

II.5.2. Limite de plasticité W_p

- Prendre un échantillon de l'argile fine ;
- Ajouter un peu d'eau afin d'homogénéiser le mélange ;
- Former des files de 3 [mm] de diamètre et de 10 [cm] de longueur ;
- Soulever le file avec la spatule ;
- On constate s'il montre des fissures ;
- On les mets dans des tares puis on les pèse ;
- Ensuite on les mets dans l'étuve pendant 24h ;
- Après le séchage on récupère l'échantillon, on le pèse, et on calcule sa teneur en eau.

$$WP = (WP1 + WP2 + WP3) / 3$$

$$WP = W (N/25)^{0,121}$$



Figure 23 : Détermination des limites de plasticité



Figure 24 : Séchage dans l'étuve

Indice de plasticité

C'est la différence entre la limite de liquidité et de plasticité, il donne l'étendue, en termes de teneur en eau, de la plage de plasticité d'un sol.

$$IP = WL - WP$$

Tableau 3: Les intervalles des indices de plasticité [20].

Indice de plasticité	Degré de saturation
0-5	Non plastique
5-10	Peu plastique
15-40	Plastique
>40	Très plastique

Chapitre III

Résultats de

caractérisation des argiles

III.1. INTRODUCTION

Parmi les caractéristiques qui nous intéressent à savoir sont les caractéristiques physico- chimique et minéralogique. Dans ce chapitre on a fait les analyses granulométriques, chimiques et minéralogiques des matériaux que nous allons utiliser dans notre travail.

Les matériaux de base sont des argiles issues du gisement d'ADJIBA-BOUIRA, et du gisement d'Oued Remila, avec le sable de Bouira pour fabriquer les briques de construction.

III.2. CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES

Les échantillons des argiles sont soumis à une préparation mécanique au laboratoire pour réduire les dimensions des grains d'une part et aboutir à des échantillons représentatifs d'autre part. Il s'agit de l'homogénéisation, concassage, quartage et de broyage.

III.2.1. Analyse granulométrique

Les différentes classes granulométriques obtenues après séparation par tamisage subiront un broyage jusqu'à des dimensions inférieures à 100 μm .

Les tableaux 4 et 5 et les figures 24 et 25 illustrent les rendements pondéraux pour les deux argiles 1 et 2. Il ressort de ces résultats que la majeure partie de la masse globale des échantillons étudiés (60,24 % et 67,85) est représenté par les tranches granulométriques de dimensions -4+2mm pour les deux argiles 1 et 2 respectivement.

Tableau 4: Analyse granulométrique de l'argile de Bouira

Tranches granulométriques (mm)	Rendement en masse(g)	Rendement Pondéraux(%)	Rendements cumulatif enrefus (%)	Rendements cumulatif en passant (%)
>4	0	0	0	100
-4+2	590,94	60,24	60,24	39,76
-2+1	151,55	15,45	75,69	24,31
-1+0,5	13,07	1,33	77,02	22,98
-0,5+0,125	158,54	16,21	93,23	6,77
-0,125+0,05	30,49	3,10	96,33	3,67
<0,05	36,28	3,69	100	0

Tableau 5: Analyse granulométrique de l'argile de Remila.

Tranches granulométriques (mm)	Rendement en masse (g)	Rendement Pondéraux(%)	Rendements cumulatif en refus (%)	Rendements cumulatif en passant (%)
>4	0	0	0	100
-4+2	587,2	67,85	67,85	32,15
-2+1	133	15,37	83,22	16,78
-1+0,5	60,7	7,01	90,23	9,77
-0,5+0,125	79,1	9,14	99,37	0,63
-0,125+0,05	4,4	0,51	99,88	0,12
<0,05	1	0,12	100	0

La caractérisation de la granulométrie d'un matériau se fait à l'aide de 2 coefficients :

- Coefficient d'uniformité

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

- Coefficient de courbure

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Résultat de calcul des coefficients de l'argile 1

- Coefficient d'uniformité

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2,8}{0,145} = 6,2$$

- Coefficient de courbure

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{1,69}{0,406} = 3,67$$

Commentaire

Pour l'argile 1 le coefficient d'uniformité ($C_u=6,2 > 2$) indique que la granulométrie est étalée.

Le coefficient de courbure ($C_c < 1$ ou $C_c > 3$) indique que le matériau est mal gradué (la continuité est mal répartie).

Résultat du calcul des coefficients de l'argile 2➤ **Coefficient d'uniformité**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{2,25}{0,45} = 5$$

➤ **Coefficient de courbure**

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1,441,01 = 1,42$$

Commentaire

Pour l'argile 2 le coefficient d'uniformité ($C_u=5 > 2$) indique que la granulométrie est étalée.

Le coefficient de courbure ($1 < C_c=1,42 < 3$) indique que le matériau bien gradué (la continuité est bien répartie). Matériau bien gradués → matériaux plus denses.

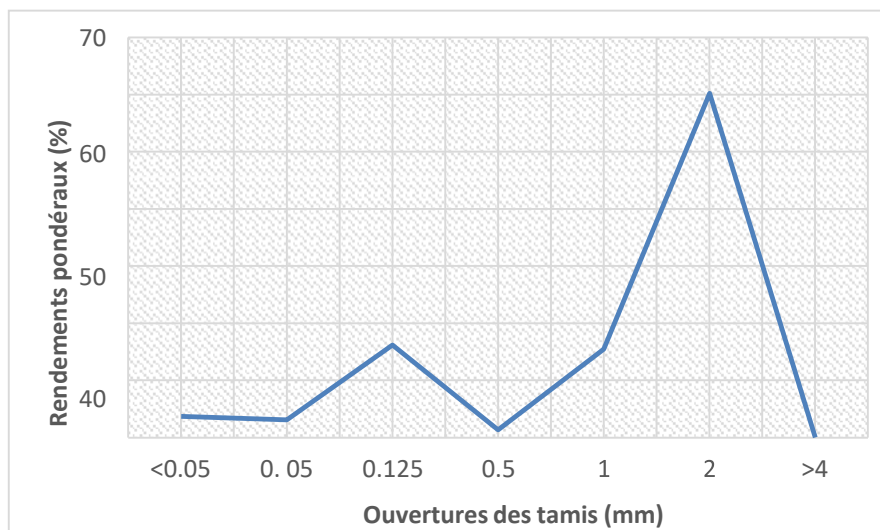


Figure 25 : Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage de l'argile de Bouira.

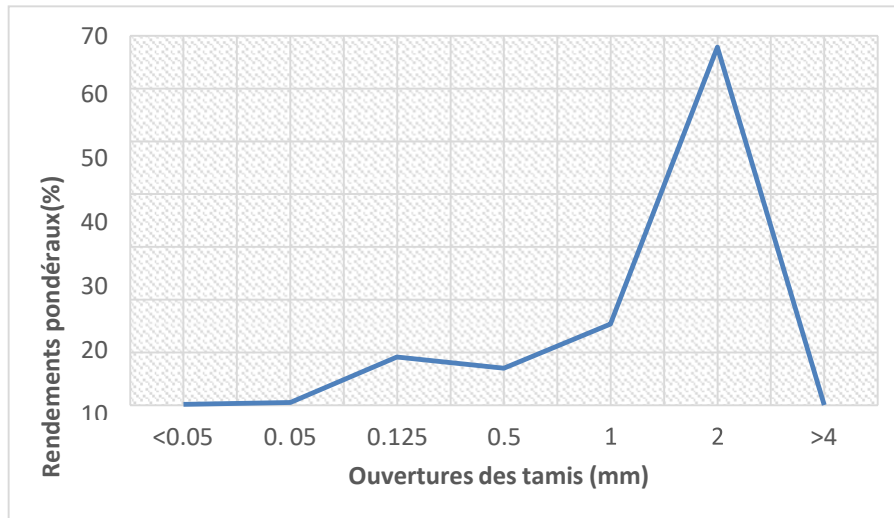


Figure 26 : Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage de l'argile de Remila.

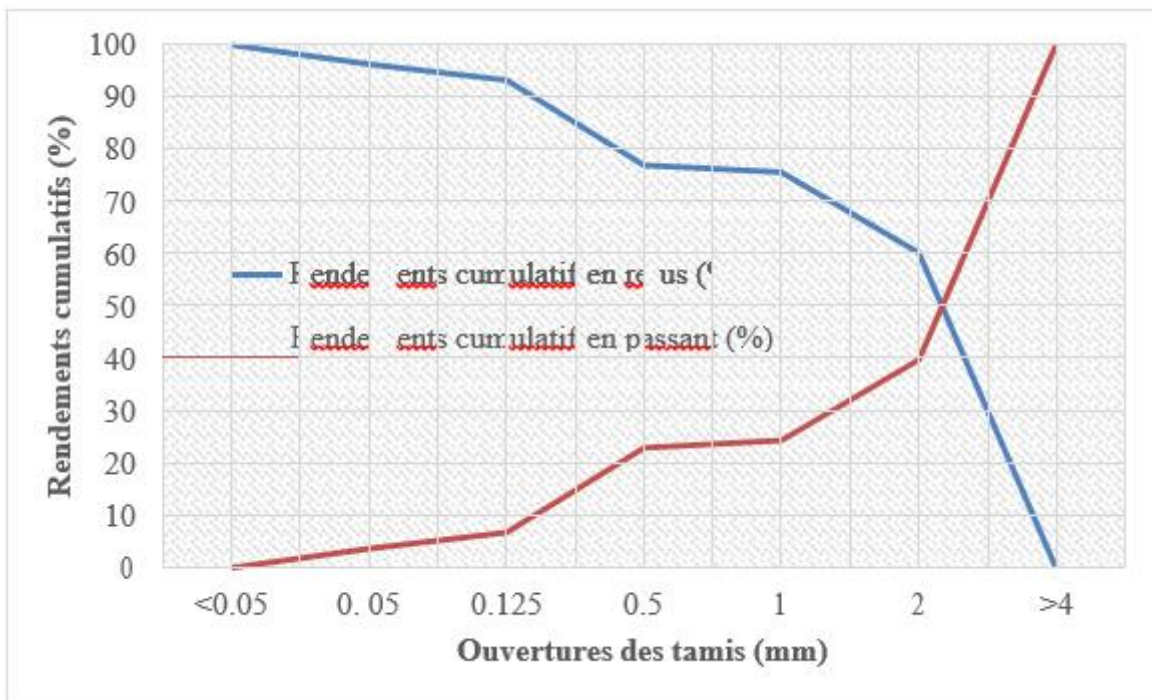


Figure 27 : Granulométrie par tamisage de l'argile de Bouira.

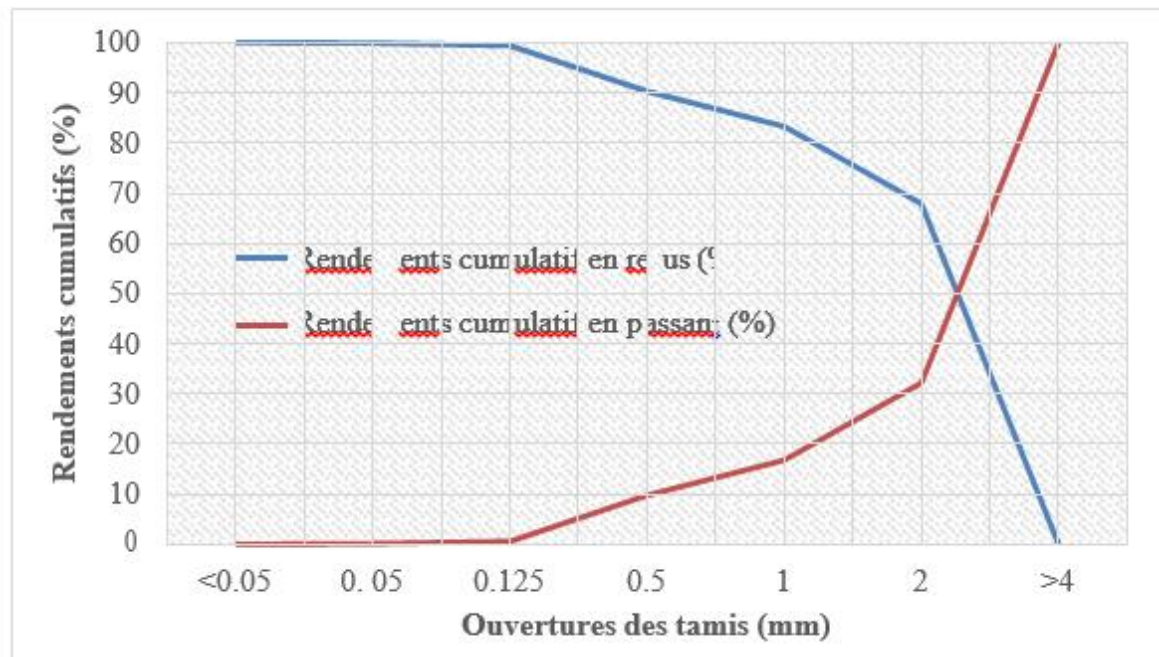


Figure 28 : Granulométrie par tamisage de l'argile de Remila.

III.2.2. Analyses chimiques par FRX

La composition chimique des échantillons a été déterminée par FRX à la cimenterie de BOUIRA.

Les résultats obtenus par FRX sont rassemblés dans le tableau et la figure. Il ressort de ces résultats que :

L'argile 1 est riche en : Quartz (47,05%), alumine (12,43%) par rapport à l'argile 2, quartz (34,9%), alumine (12,2%).

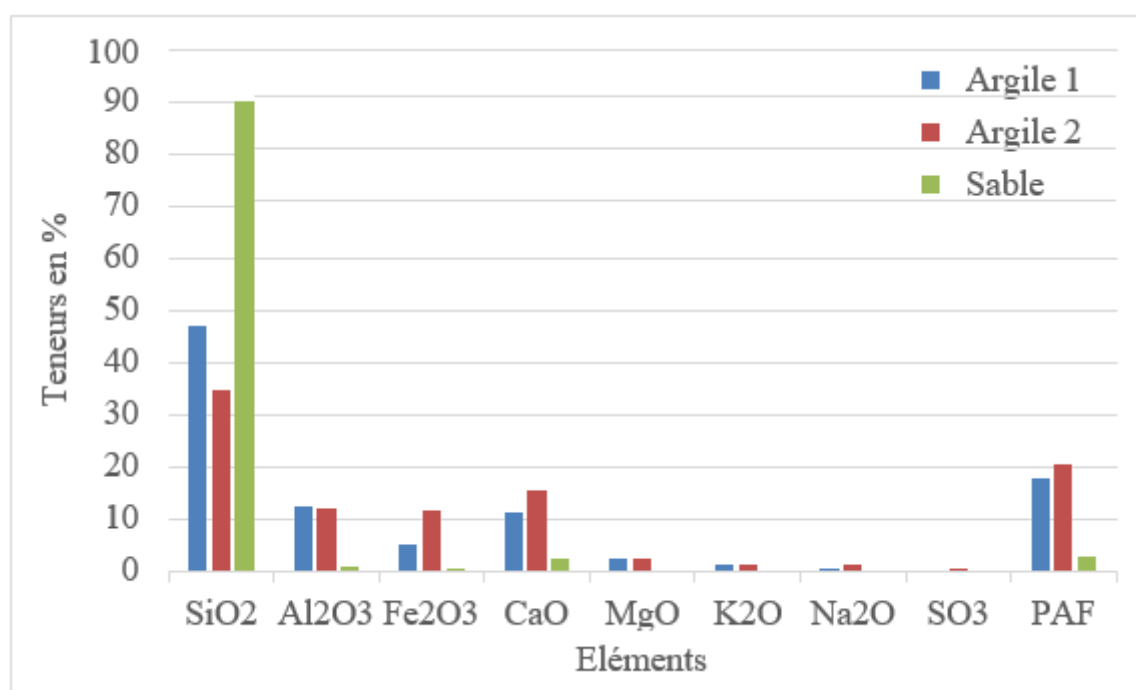
L'argile 2 est riche en : Fer (11,6%), en oxyde de calcium (30%) et en PAF (20,39), par rapport à l'argile 1, fer (5,13%), oxyde de calcium (11,46%), PAF (17,79%).

Pour les éléments restant : MgO, K₂O, Na₂O, SO₃ ils sont proportionnels.

L'argile 1 ayant une forte teneur en silicium plus de 47,05% permet de la catégoriser comme étant une argile siliceuse, alors que l'argile 2 contient une forte teneur en calcium plus de 30 % ce qui permet de la catégoriser comme étant une argile calcaireuse et plastique.

Tableau 6: Eléments chimiques des argiles et du sable par FRX pour les trois échantillons.

Eléments	Teneurs en %		
	Argile 1	Argile 2	Sable
SiO ₂	47,05	34,9	90,31
Al ₂ O ₃	12,43	12,2	0,67
Fe ₂ O ₃	5,13	11,6	0,52
CaO	11,46	30	2,2
MgO	2,51	2,21	0,06
K ₂ O	1,44	1,23	0,23
Na ₂ O	0,6	1,33	0
SO ₃	0,25	0,54	0,03
PAF	17,79	20,39	2,96

**Figure 29 :** Eléments chimiques des argiles 1, 2 et du sable.

III.2.3. Analyse par spectrométrie FTIR

Les analyses par spectrophotométrie Infrarouge ont été réalisées pour les trois échantillons broyés (< 100 µm) étudiés de l'argile 1 et 2 et du sable. Les résultats sont rapportés dans les figures 30,31 et 32 et le tableau 7.

Dans la zone des fréquences se trouvent les vibrations de valence des groupements

OH qui se traduisent par la présence de quatre bandes d'absorption centrées sur les fréquences 3697, 3698, 3421.

La bande d'absorption dans l'intervalle 1200- 1000 cm^{-1} correspond à l'élongation de la liaison Si-O et à la liaison par étirement antisymétrique de Si-O-Si (OH libre internes et OH externe).

Les bandes de vibration à 2876, 2926, 2824 cm^{-1} sont attribuées aux matières organiques et cette dernière a été totalement absente dans le spectre IR du sable [21, 22 et 23].

On met en évidence plusieurs bandes principales, en particulier celles attribuées des hydroxyles et des carbonates C-O et des matières organiques avec une variation de déformation de Si-O, Al-OH-Si et Si-O-M pour les deux argiles 1 et 2.

Pour le sable les bandes mises en évidence hydroxyles et des carbonates C-O et avec une variation de déformation de Si-O, Al-OH-Si et Si-O-M.

Tableau 7: Les groupements fonctionnels correspondant observé.

Identification des bandes	Intensité des bandes	Argile 1	Argile 2	Sable
Hydroxyle OH	Très forte	3697-3441	3698-3429	3421
Matière organique	Forte	2876	2926-2824	//
C-O du carbonate (CO₃)⁻²	Forte	2515	2375	2374
H₂O	Moyen	1647	1650	//
Carbonates	Moyen	1442	1425	1436
Si-O	Moyen	1037	1041	1038.9-1171
Al-OH-Si	Faible	798	877-729	777
Si-O-M Déformation	Faible	530	567-607	694-459

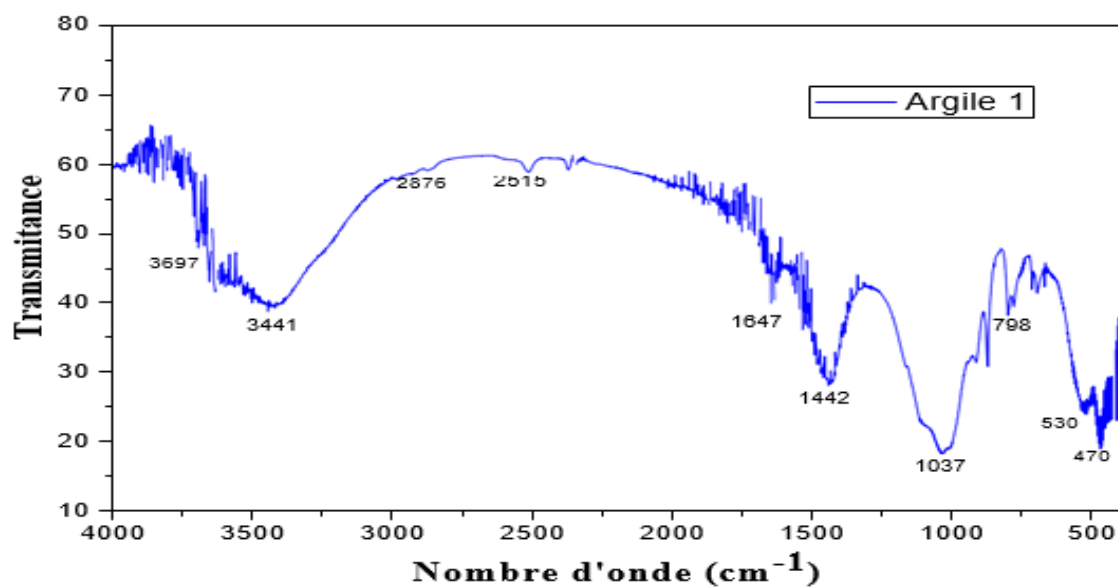


Figure 30 : Spectre infrarouge de l'argile 1

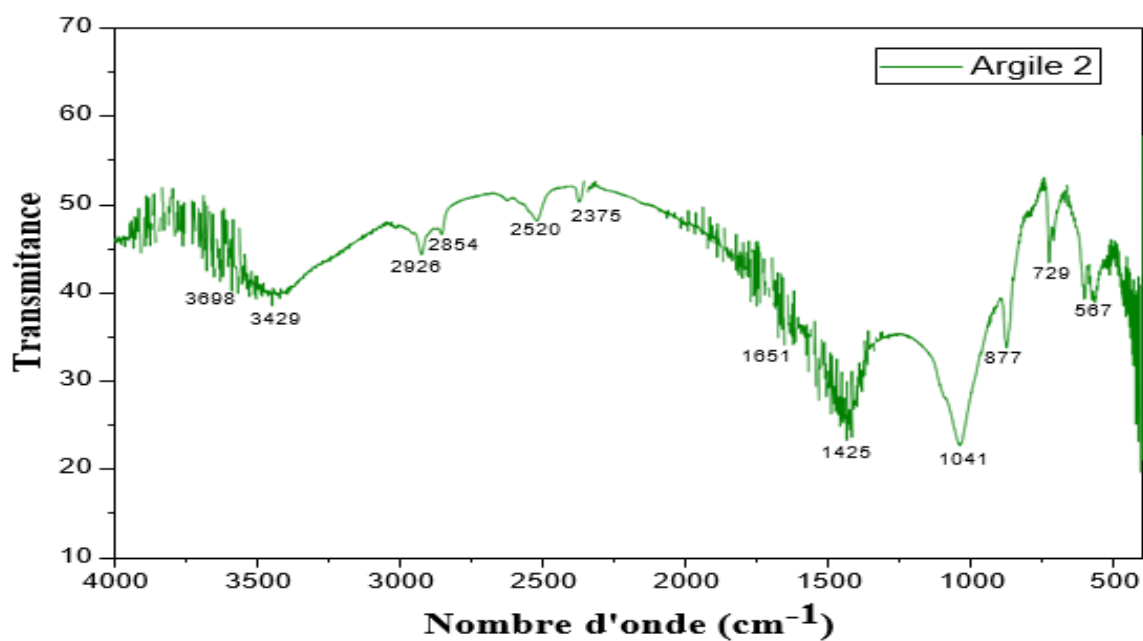


Figure 31 : Spectre infrarouge de l'argile 2

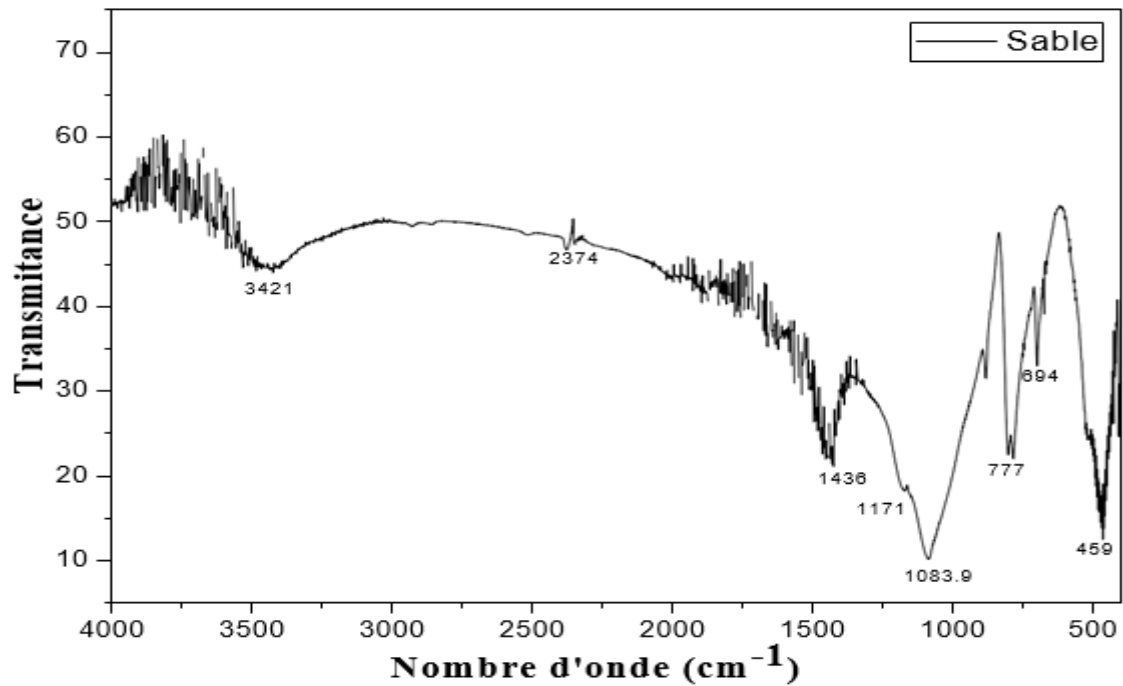


Figure 32 : Spectre infrarouge du sable

III.2.4. Résultats de la limite de liquidité

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau qui délimitent les états de consistance d'un sol qui s'expriment en pourcentage, ce sont la limite de liquidité et la limite de plasticité.

Leurs buts est de classifier et identifier les différents états des sols : liquide, plastique, solide et solide sans retrait de ces matériaux.

III.2.4.1. Pour déterminer la limite de liquidité WI

Tableau 8: Calcul de la limite de liquidité 100% argile

N° tare	46	66	58	81	61
Masse de la tare (g)	7,4	7,4	7,1	7,3	7,3
Masse du sol humide+ tare (g)	13,6	16,7	14,1	16,1	14,4
Masse du sol sec + tare (g)	11,5	13,4	11,7	12,9	12,1
Masse du sol sec (g)	4,1	6	4,6	5,6	4,8
Masse d'eau évaporée (g)	2,1	3,3	2,4	3,2	2,3
Teneur en eau%	33,87	35,48	34,28	36,36	32,39
Nombre de coups	15	21	23	26	31

La limite de liquidité de l'échantillon 100% argile est : $Wl \approx 34\%$

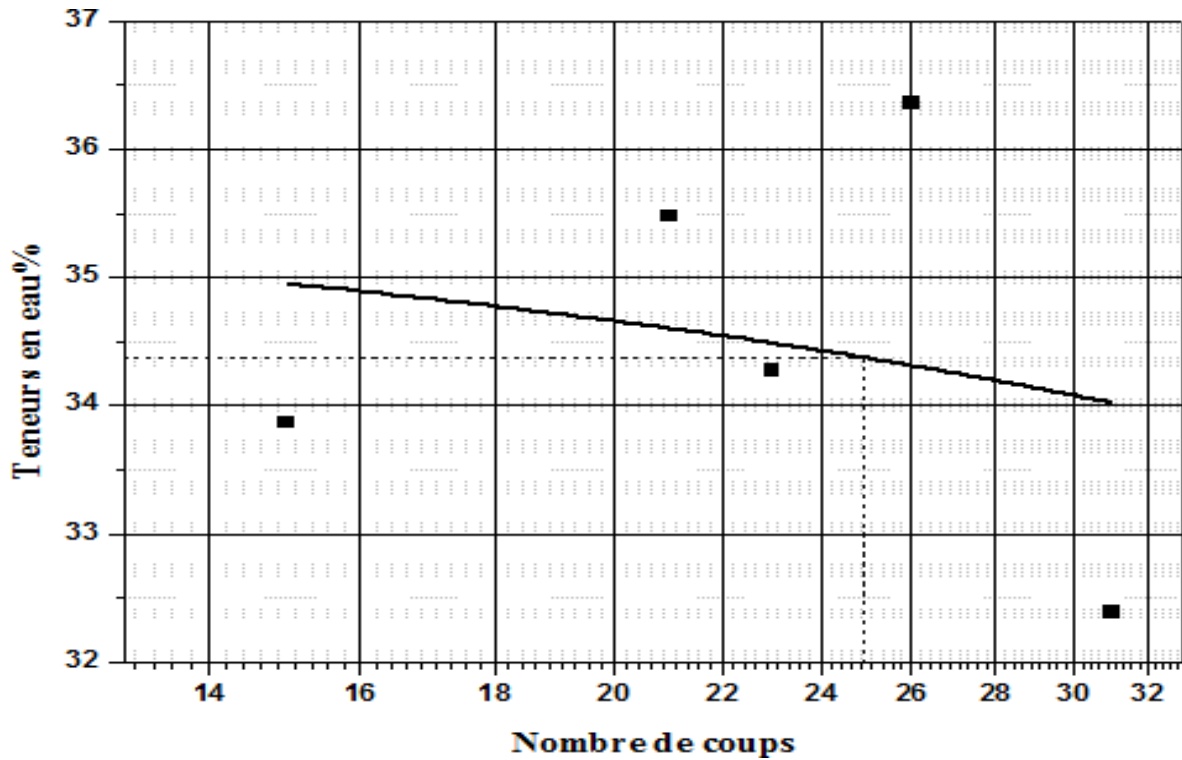


Figure 33 : Teneur en eau en fonction du nombre de coups pour l'échantillon 100% argile

Tableau 9: Calcul de la limite de liquidité 50% argile, 50% sable

N° Tare	83	56	47	72	85
Masse de la tare(g)	7,3	7,5	7,5	7,2	7,5
Masse du sol humide+tare(g)	15,4	16,1	14,2	18,1	17
Masse du sol sec + tare(g)	11	13,8	12,4	15,3	14,5
Masse du sol sec(g)	8,1	6,3	4,9	8,1	7
Masse d'eau évaporée(g)	4,4	2,3	1,8	2,8	2,5
Teneur en eau%	54,32	26,74	26,87	25,69	26,32
Nombre de coups	26	21	28	22	23

La limite de plasticité de l'échantillon 50% argile et 50% sable est : $Wl \approx 32\%$

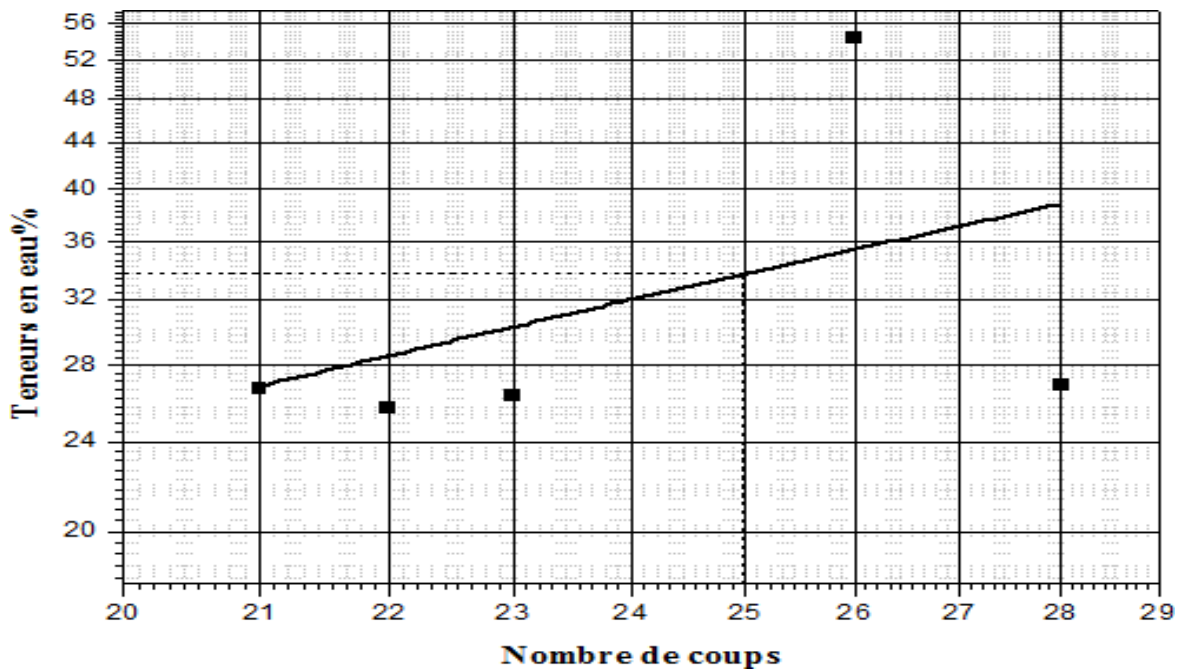


Figure 34 : Teneur en eau en fonction de nombres de coups pour l'échantillon 50% argile et 50% sable

III.2.4.2. Pour déterminer la limite de plasticité Wp

Tableau 10: Calcul de la limite de plasticité 100% argile

N° tare	51	12	44	9	33
Masse de la tare(g)	7,4	19	7,4	7,3	7,4
Masse du sol humide+tare(g)	10,1	20,9	10,2	9,7	9,7
Masse du sol sec + tare (g)	9,5	20,4	9,6	9,2	9,3
Masse du sol sec(g)	2,1	1,4	2,2	1,9	1,9
Masse d'eau évaporée	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4
Teneur en eau %	22,22	26,32	21,43	20,83	17,39

La limite de plasticité de l'échantillon 100% argile est de : $WP = 21\%$ $IP = 34 - 21 = 13\%$

Tableau 11: Calcul de la limite de plasticité 50% argile, 50% sable

N° tare	78	43	49	59	42
Masse de la tare (g)	7,5	7,5	7,5	7,4	7,3
Masse du sol humide+tare (g)	9,4	9,8	9,2	10,8	9,5
Masse du sol sec + tare (g)	9	9,3	8,9	10,2	9,1
Masse du sol sec (g)	1,5	1,8	1,4	2,8	1,8
Masse d'eau évaporée	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4
Teneur en eau %	21,06	21,74	17,65	17,65	18,18

La limite de plasticité pour l'échantillon à 50% argile et 50% sable est de :

$$W_p = 19\% - I_p = 32 - 19 = 13\%$$

Selon l'indice de plasticité (13%), on montre que l'argile est plastique.

III.3. CONCLUSION

Dans ce chapitre on a effectué une étude chimique par plusieurs méthodes d'analyses FRX, et IFTR, qui nous ont permis de définir la nature de l'argile1, riche en quartz (47,5%) et en alumine (12,43%) par rapport à l'argile 2 quartz (34.9%) et l'alumine (12.2%).

L'argile 2 est caractérisé par des teneurs élevés de fer(11,6%), calcium(30%)et en sodium(1,33%) par rapport à l'argile 1, fer(5,13%) calcium(11,46%), sodium(0,6%).

La présence de silicium (Si) en forte teneurs joue généralement un rôle de matériaux de charge et généralement utilisés dans la fabrication de briques cuites pour réduire plasticité et augmente la dureté du brique. L'aluminium (Al) permet d'améliorer la plasticité des mélanges et d'obtenir des produits pressés à reliefs importants.

Le calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na) et le magnésium (Mg) sont également considérés comme des éléments fluxant et tendent à se combiner aux silicates au cours de la cuisson. Le reste des éléments chimiques sont des teneurs proches.

Chapitre IV

Fabrication des briques de construction

IV.1. INTRODUCTION

La brique en terre cuite est un mélange d'argile et de sable, la qualité de cette brique est sans doute liée aux caractéristiques de ses constituants.

L'objectif de ce chapitre est de proposer des solutions fiables et faisables pour la fabrication des briques cuites à partir de deux argiles différentes : argile 1 celle de BOUIRA et argile 2 celle de REMILA.

Plusieurs méthodes et techniques des analyses sont utilisées, il s'agit des essais mécaniques, (résistance à la compression et à la flexion), des analyses minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX) et des analyses chimiques par fluorescence des rayons X (FRX).

IV.2. FABRICATION DES BRIQUES DE CONSTRUCTION

La production de la brique se base sur une série d'opérations qui se compose de plusieurs étapes comme suit :

Tout d'abord la matière première utilisée est l'argile, dans cette étude nous utilisons deux types d'argiles : argile 1, de BOUIRA et argile 2, de REMILA plus un ajout de sable (la silice Si) afin d'augmenter la dureté des briques.

Les deux argiles sont concassées dans un concasseur à mâchoires à un diamètre de 2 mm puis séchées dans l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

Le sable et les deux argiles subiront un broyage jusqu'à des dimensions inférieures à 100 µm dans un broyeur FRISCH au laboratoire LTMGP, Université Bejaia (figure 35).

IV.2.1. La préparation de la pâte des argiles

Les mélanges des trois échantillons sont ensuite préparés selon les taux de substitution désirés. Ces derniers changent en fonction des pourcentages d'argile et de sable ajoutés comme suit :

- **Echantillon MG1** : 100 % d'argile 1
- **Echantillon MG2** : 80 % d'argile 1, 10 % argile 2 et 10 % sable
- **Echantillon MG3** : 60% argile 1, 20% argile 2 et 20% sable
- **Echantillon MG4** : 40% argile 1, 30% argile 2 et 30% sable

Avant de commencer à préparer des échantillons, le pré-requis est de préparer le moule à utiliser, pour cela, nous avons utilisé des moules existant dans le laboratoire LTMGP de l'Université de Bejaïa avec une taille de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$.

Les matières premières sont mélangées avec une quantité suffisante d'eau (34%) dans un malaxeur, ensuite on les a mis dans des moules, pressés manuellement pour évacuer l'air et l'eau.

On a réalisé 12 échantillons de briques, puis on a attribué pour chaque température (850,900, 950°C). Par exemple, les briques 1, 2,3 et 4 ont été soumises à la température 850°C.

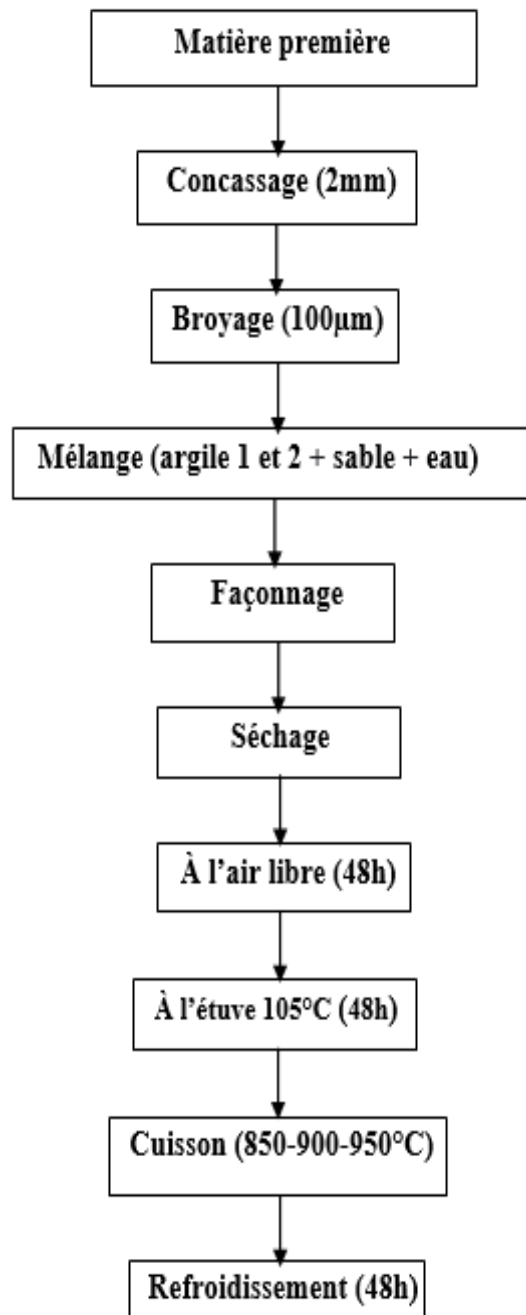


Figure 35 : Etapes technologiques de l'élaboration des briques

IV.2.2. Façonnage

On introduit dans les moules la pâte que l'on comprime pour lui donner la cohésion et la forme voulue, ensuite on retourne le moule pour démouler la brique crue.



Figure 36 : Façonnage des briques

IV.2.3. Séchage

Il est nécessaire avant la cuisson d'éliminer la plus grande partie de cette eau. La pâte est séchée à l'air libre pendant deux jours puis dans l'étuve à 105°C pendant deux jours.



Figure 37 : Séchage à l'air libre



Figure 38 : Séchage à l'étuve

IV.2.4. Cuisson

C'est la dernière opération que doit subir le bloc d'argile façonné et séché pour devenir ensuite une brique de terre cuite, cette étape consiste au changement de la température de cuisson (850, 900, 950°C) pour chaque mélange MG1, MG2, MG3, MG4 .



Figure 39 : Cuisson de briques au four du Hall Technologie (photo prise)

IV.2.5. Refroidissement

C'est la dernière étape, elle consiste à refroidir les briques. Cette opération doit s'effectuer de façon très contrôlée pour éviter tout risque de fissuration. Et c'est pour cela qu'on a effectué le refroidissement de manière progressive pendant 12 heures jusqu'à la température ambiante ensuite on les a exposé à l'air libre.



Figure 40 : Briques cuites



Figure 41 : Brique cuite à l'argile 100%

IV.3. CARACTERISATION DES BRIQUES

Les briques cuites sont caractérisées par leurs propriétés chimiques (FRX, IFTR) mécaniques (résistance à la flexion, et à la compression). Les méthodes utilisées et leurs résultats sont décrits dans ce chapitre.

IV.3.1. Essai mécanique des briques

La résistance mécanique est un des indicateurs essentiel exigé par les normes de construction.

La caractérisation mécanique comprend les essais de flexion et de compression sur l'éprouvette étudiée sur les éprouvettes fabriquées et permet l'évaluation de l'aptitude d'un matériau à être utilisé dans le domaine de la construction.

Nous avons réalisé les essais physiques sur les différents échantillons des briques dans un appareil de compression au laboratoire de la cimenterie de BOUIRA comme le suivant :

C1 : test de résistance à la compression numéro 1 ;

C2 : test de résistance à la compression numéro 2 ;

CM : La moyenne des deux compressions 1et 2 ;

F1 : test de résistance à la flexion numéro 1 ;

F2 : test de résistance à la flexion numéro 2 ;

FM : la moyenne des deux flexions 1 et 2.

IV.3.1.1. Résultats de la résistance à la compression des briques à 850 °C

Le tableau 12 et la figures 42 illustre les résultats de la résistance à la compression des briques à la température 850 C°.

Il ressort de ces résultats que la résistance à la compression des briques pour le mélange à 40% d'argile du MG4 (29 MPa) plus supérieure aux autres résistances des trois mélanges MG1 (6,81 MPa), MG2 (9,72 MPa) et MG3 (21,97 MPa).

Tableau 12: Résultats de la résistance à la compression des briques à 850 °C

Mélange	Résistance à la compression en MPa		
	C1	C2	CM
MG1	8,39	5,24	6,81
MG2	11,97	7,48	9,72
MG3	27, 04	16,90	21,97
MG4	35,7	22,3	29

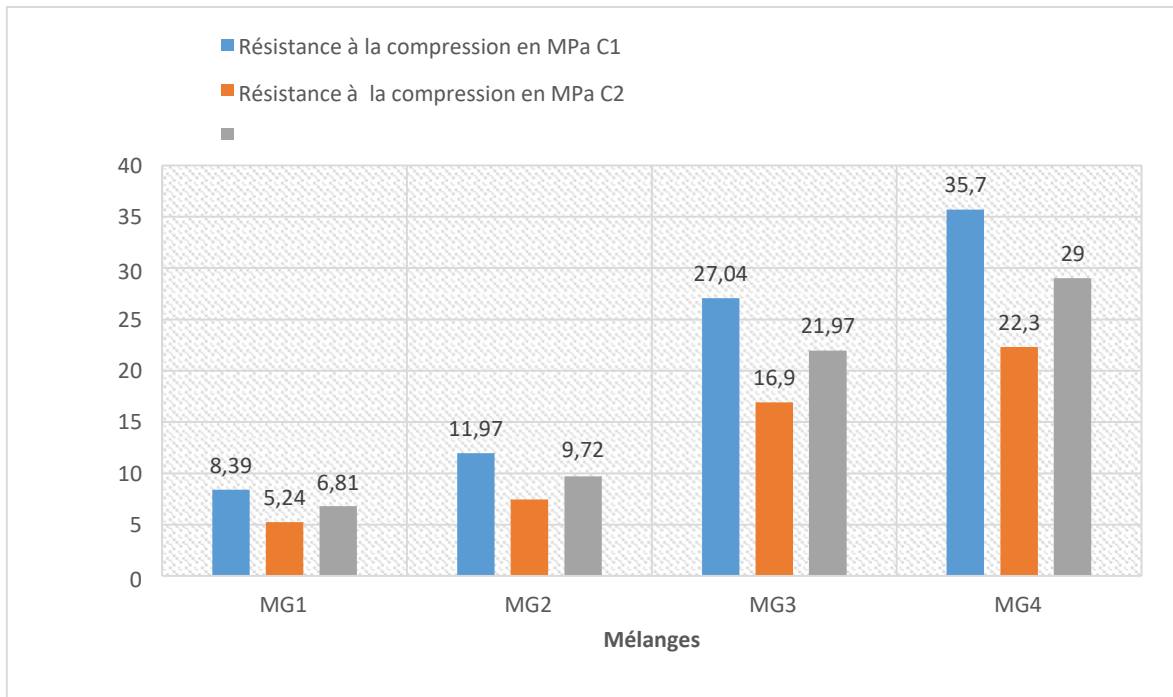


Figure 42 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression des briques à 850°C

IV.3.1.2. Résultats de la résistance à la compression des briques de 900°C

Le tableau 13 et la figure 43 illustrent les résultats de la résistance à la compression des briques à la température 900 °C.

Il ressort de ces résultats que la résistance à la compression des briques à 40% d’argile MG4 (38.95 MPa) plus supérieure aux autres résistances des trois mélanges MG1(13,93 MPa),MG 2 (31,35 MPa) et MG3 (34,6 MPa) .

Tableau 13: Résultats de la résistance à la compression des briques à 900 °C

Mélange	Résistance à la compression en MPa		
	C1	C2	CM
MG1	17,15	10,72	13,93
MG2	39,2	23,5	31,35
MG3	42,6	26,6	34,6
MG4	47,9	30	38,95

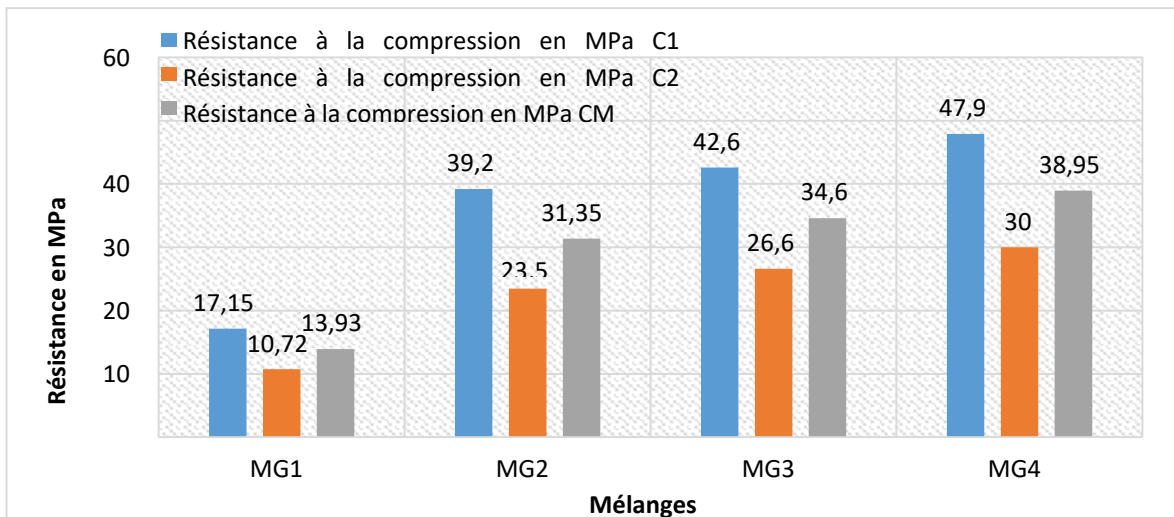


Figure 43 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression de brique à 900°C.

IV.3.1.3. Résultats de la résistance à la compression des briques de 950 °C

Le tableau 14 et la figures 44 illustrent les résultats de la résistance à la compression des briques à la température 950 °C. Il ressort de ces résultats que la résistance à la compression des briques à 40% d'argile MG4 (25,95 MPa) plus grande par rapport aux autres mélanges MG1 (2,85 MPa), MG2 (13,67 MPa) et le MG3 (21,85 MPa), ceux-ci est dû à l'augmentation de la teneur en silicium.

Tableau 14: Résultats de la résistance à la compression des briques à 950 °C.

Mélange	Résistance à la compression en Mpa		
	C1	C2	CM
MG1	3,51	2,2	2,85
MG2	16,82	10,51	13,67
MG3	26,89	16,8	21,85
MG4	31,9	20	25,95

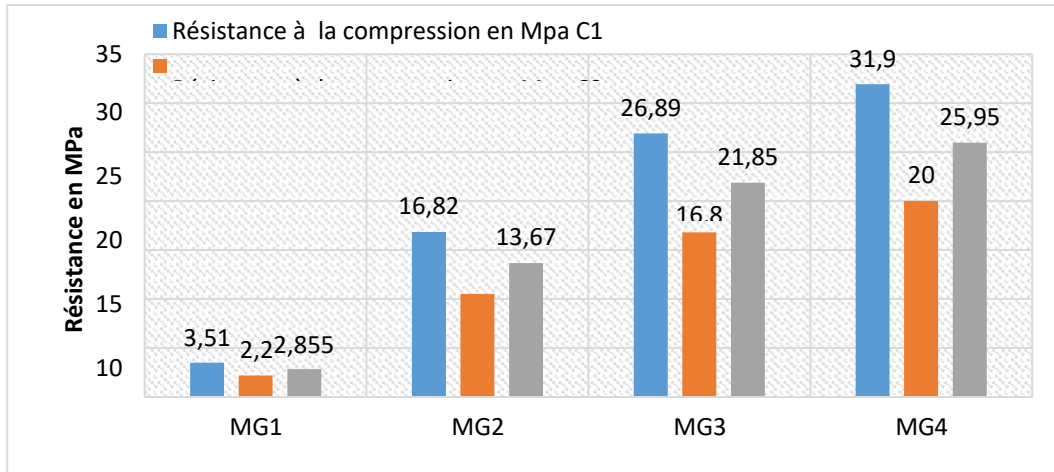


Figure 44 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression de brique à 950°C

IV.3.1.4. Résultats de la résistance à la flexion à 850°C

Le tableau 15 et la figures 45 illustrent les résultats de la résistance à la flexion des briques à la température 850 °C. Il ressort de ces résultats que la résistance à la flexion des briques pour le mélange de 40% d’argile (MG4 : 1,89MPa est plus grande par rapport aux autres mélanges (MG1 : 0,88 MPa), (MG2 :1,51 MPa) et le (MG3 :1,74 MPa).

Tableau 15: Résultats de la résistance à la flexion des briques à 850°C.

Mélange	Résistance à la flexion en MPa		
	F1	F2	FM
MG1	1,43	0,33	0,88
MG2	0,90	2,12	1,51
MG3	1,04	2,45	1,74
MG4	1,13	2,66	1,89

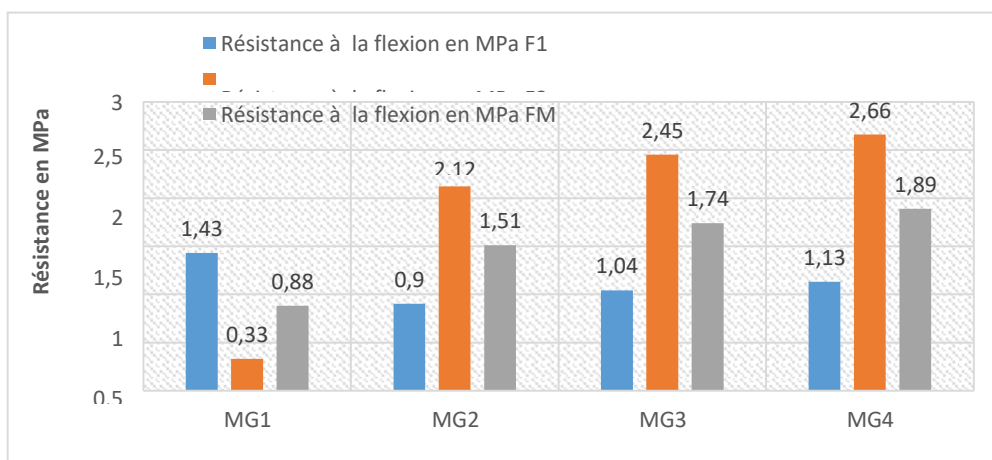


Figure 45 : Histogramme de la résistance (MPa) à la flexion de brique à 850 °C

IV.3.1.5. Résultats de la résistance à la flexion des briques à 900 °C

Le tableau 16 et la figures 46 illustrent les résultats de la résistance à la flexion des briques à la température 900 °C. Il ressort de ces résultats que la résistance à la flexion des briques pour le mélange à 40% d'argile (MG4 : 4,03 MPa) est plus grande par rapport aux autres mélanges (MG1 : 2,53 MPa), (MG2 : 2,69 MPa) et le MG3 : 3,20 MPa).

Tableau 16: Résultats de la résistance à la flexion des briques à 900 °C

Mélange	Résistance à la flexion en MPa		
	F1	F2	FM
MG1	1,50	3,56	2,53
MG2	1,61	3,77	2,69
MG3	1,91	4,49	3,20
MG4	2,41	5,66	4,03

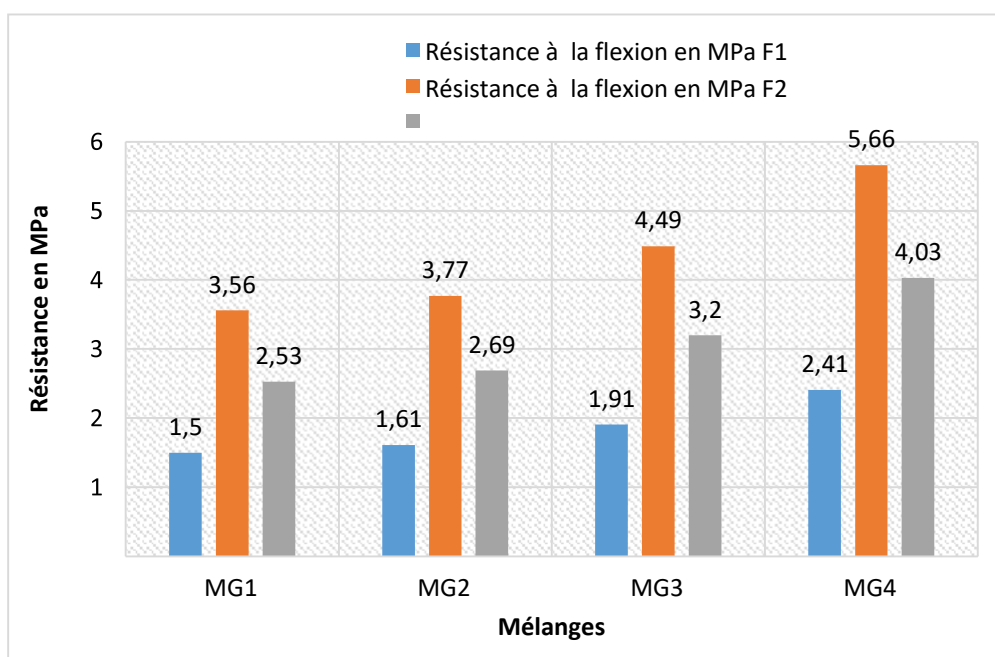


Figure 46 : Histogramme de la résistance (MPa) à la flexion des briques à 900 °C.

IV.3.1.6. Résultats de la résistance à la flexion à 950°C

Le tableau 17 et la figures 47 illustrent les résultats de la résistance à la flexion des briques à la température 950 °C. Il ressort de ces résultats que la résistance à la flexion des briques pour le mélange à 40% d'argile (MG4: 3,84 MPa) est plus grande par rapport aux autres mélanges (MG1: 1,04 MPa), le (MG2 : 2,03MPa) et le (MG : 3,09 MPa).

Tableau 17: Résultats de la résistance à la flexion des briques à 950 °C

Mélange	Résistance à la flexion en Mpa		
	F1	F2	FM
MG1	1,69	0,39	1,04
MG2	1,21	2,85	2,03
MG3	1,85	4,34	3,09
MG4	2,81	4,88	3,84

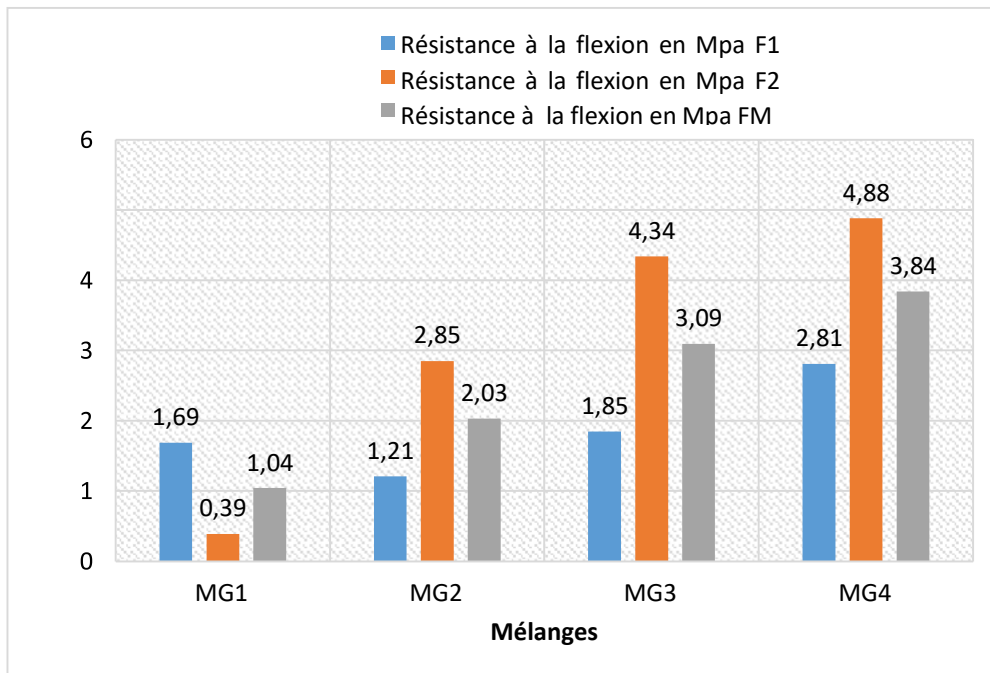


Figure 47 : Histogramme de la résistance (MPa) à la compression de brique à 950°C.

D'après les résultats des essais physiques obtenus on montre que les meilleurs résultats de la résistance à la compression sont enregistrés à la température 900°C pour les quatre types des briques (MG1 : 13,93 MPa, MG2 : 31,35 MPa, le MG3 : 34,6 MPa et le MG4 : 38,95

MPa). Aussi pour la résistance à la flexion les meilleurs résultats sont obtenus à la température 900°C du MG1 (2,53MPa), MG2 (2,69MPa), MG3 (3,20 MPa) et MG4 (4,03MPa).

En revanche parmi ces résultats le meilleur résultat de compression est enregistré par la brique MG4 à 40% d'argile à cause de la teneur élevée du silicium (28.57%).

IV.4. ANALYSES CHIMIQUES PAR FRX DES BRIQUES

On a effectué une analyse par FRX de trois meilleures briques 6,7 et 8 à une température 900°C, les résultats sont illustrés dans le tableau 18 et la figure 48.

La brique 8 est riche en silicium (28,57%), et calcium (17,8%) par rapport aux deux autres briques : la brique 6 (silicium (26,77%), calcium (14,31%)) et la brique 7 (silicium (27,27%), calcium (15,76%)).

La brique 6 est riche en aluminium (7,78%), Fer (4,13%) et potassium (1,25%) par rapport aux deux autres briques : la brique 7 (aluminium (6,47%), fer (3,34%), potassium (1,05%)) et la brique 8 (aluminium (4,94%), fer (2,45%) potassium (0,902%)).

Tableau 18: Teneurs des éléments chimiques des briques.

Eléments	Teneur en %		
	Brique 6	Brique 7	Brique 8
E.L	40,83	39,52	37,75
Si	26,77	27,27	28,57
Ca	14,31	15,76	17,8
Al	7,78	6,47	4,94
Fe	4,13	3,34	2,45
Mg	2,95	4,14	4,50
K	1,25	1,05	0,902
Sr	0,126	0,98	0,08
Mn	0,62	0,053	0,038
Ni	0,003	0,003	0,003
Zn	0,016	0,013	0,012
Pb	0,005	0,003	0,003
Zr	0,018	0,014	0,011
Cu	0,003	0,004	0,004
S	0,257	0,276	0,326
Ti	0,585	0,362	0,250
Cr	0,027	0,045	0,49

Les éléments restants Mg, Sr, Mn, Ni, Zn, Pb, Zr, Cu, S, Ti, Cr sont presque proportionnelles pour les trois briques 6,7, 8.

Le silicium (Si) joue généralement un rôle de matériaux de charge et généralement

utilisés dans la fabrication de briques cuites pour réduire la plasticité et augmenter la dureté de la brique.

L'aluminium (Al) permet d'améliorer la plasticité des mélanges et d'obtenir des produits pressés à reliefs importants.

Le calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na) et le magnésium (Mg) sont également considérés comme des éléments fluxants et tendent à se combiner aux silicates au cours de la cuisson. Le reste des éléments chimiques sont des teneurs proches.

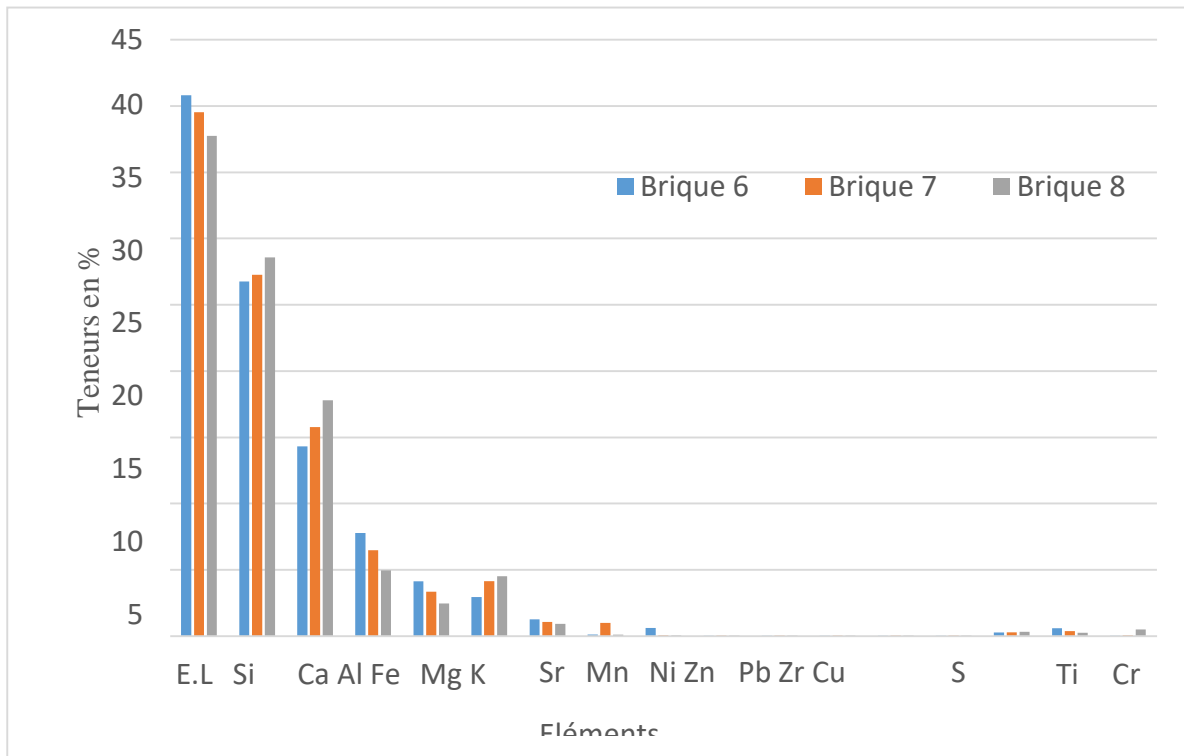


Figure 48 : Eléments chimiques des briques 6, 7 et 8 à la température 900°C par FRX.

IV.5. ANALYSES PAR DRX DES BRIQUES

L'étude minéralogique du minerai, effectuée par diffraction des rayons X (XRD) a porté sur les deux échantillons broyés (< 100 µm).

Les résultats obtenus pour les trois échantillons des briques étudiées rapportés par les figures 49, 50 et 51 ont mis en évidence la présence des minéraux principalement recherchés suivants :

- Diopside et Enstatite comme minéraux principaux ;
- Quartz et Gehlinites en faible quantité.

L'augmentation de la température de cuisson à 950°C a permis la formation de quartz

(SiO₂) et de gehlénite (Ca₂Al₂Si₂O₇) en faible quantité [19].

La quantité de quartz diminue lorsque la température passe de 800 à 1050°C. Cette observation peut s'expliquer par la décomposition et l'incorporation de la silice du quartz dans d'autres phases amorphes et cristallines [24].

La présence de magnésium avec le quartz produit la formation d'enstatite, les silicates amorphes de composition enstatite [25].

La nature des phases minérales se formant après la cuisson dépend essentiellement de la composition chimique, la minéralogie, la température de cuisson, la durée de cuisson et l'atmosphère de cuisson et la durée de cuisson.

Les phases communes trouvées généralement dans les briques cuites sont: des phases amorphes qui peuvent exister toutes seules ou combinées; la première est sous forme d'une structure cristalline détruite non détectable par la diffraction des rayons X et la deuxième est sous forme d'une phase vitreuse qui représente la phase fondue au cours de la cuisson, le quartz, le diopside dans les matières riches en Ca [26].

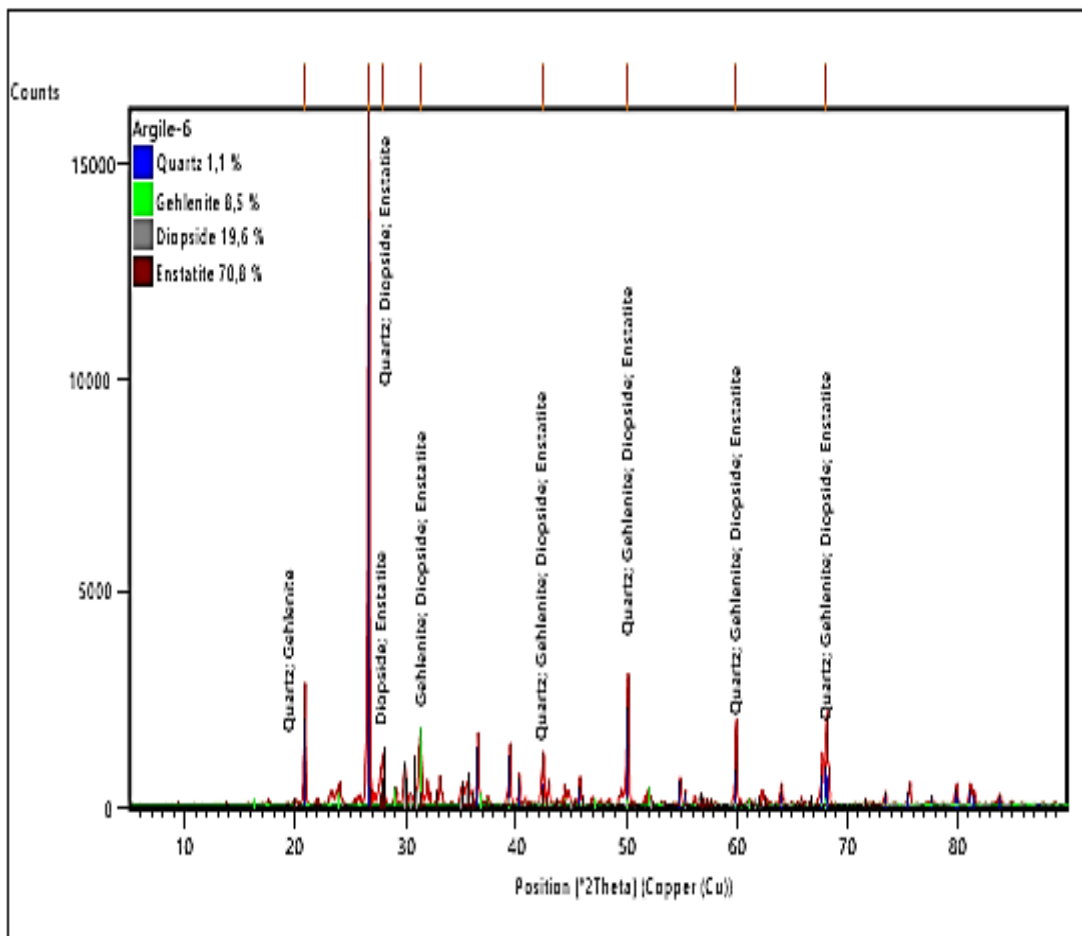


Figure 49 : Diffraction des rayons X de la brique 6

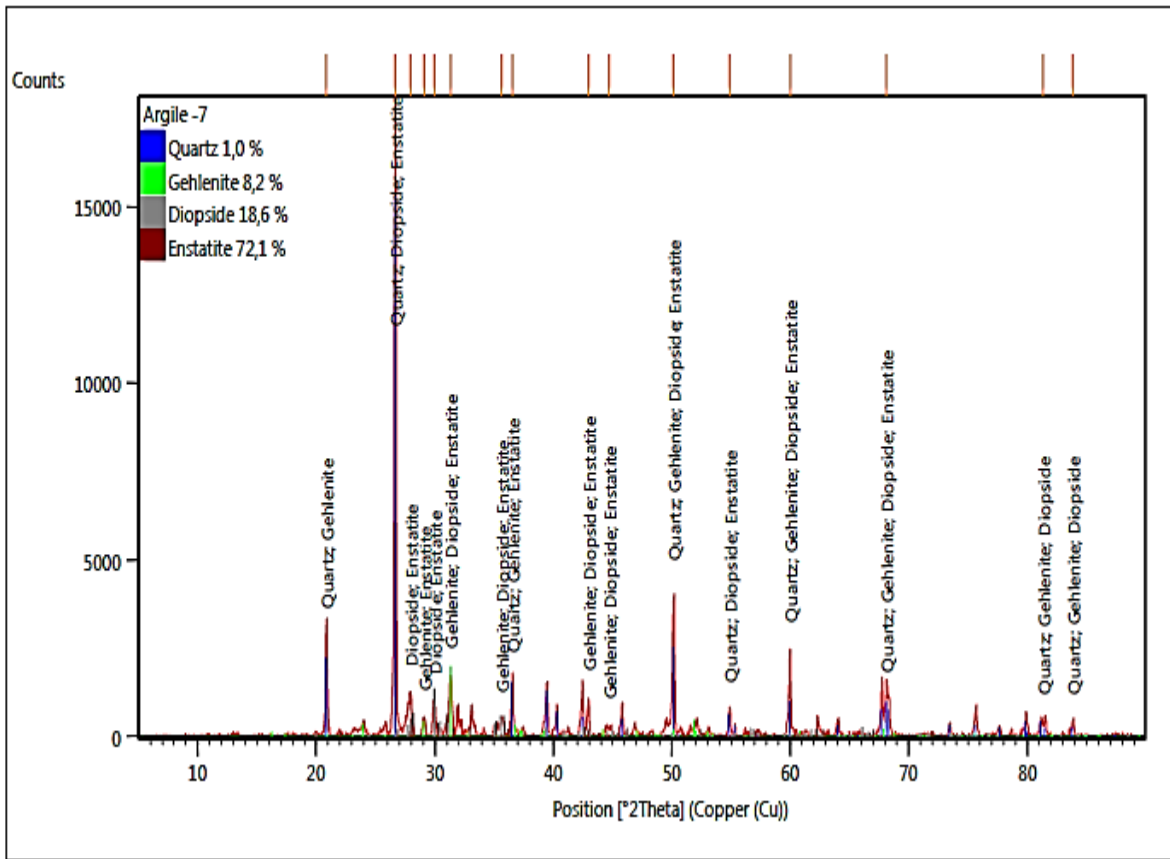


Figure 50 : Diffraction des rayons X de la brique 7

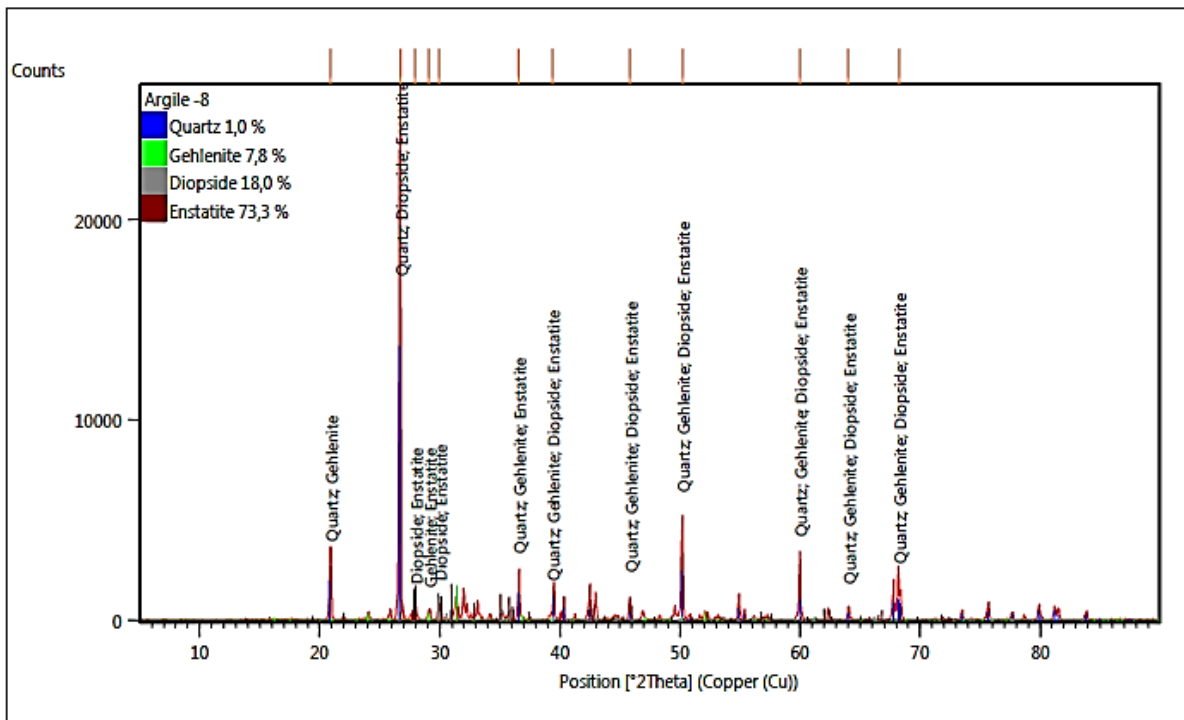


Figure 51 : Diffraction des rayons X de la brique 8

IV.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre on a effectué une étude mécanique et chimique par plusieurs méthodes d'analyses résistance à la compression, et à la flexion, FRX et DRX.

D'après les résultats des essais physiques obtenus on conclut que les meilleurs résultats de la résistance à la compression sont enregistrés à la température 900°C pour les quatre types des briques (MG1 : 13,93MPa, MG2 : 31,35MPa, le MG3 : 34,6MPa et le MG4 : 38,95MPa).

Aussi pour la résistance à la flexion les meilleurs résultats sont obtenus à la température 900°C du MG1 (2,53MPa), MG2 (2,69MPa), MG3 (3,20 MPa) et le MG4 (4,03MPa).

En revanche parmi ces résultats le meilleur résultat de compression est enregistré par la brique MG4 à 40% argile à cause de la teneur élevée du silicium (28.57%).

L'augmentation des quantités de sable ajoutée, augmente la présence de la silice résultant une conservation dans la résistance à la compression.

Les résultats obtenus pour les trois échantillons des briques étudiée rapportés par les analyses de la diffraction des rayons X ont mis en évidence la présence des minéraux principalement recherchés suivants :

- Diopside et Enstatite comme minéraux principaux.
- Quartz et Gehlénite en faible quantité (l'augmentation de la température de cuisson à 950°C a permis la formation de Quartz et de Gehlénite en faible quantité.

On peut conclure que les résultats de la résistance à la flexion à la meilleure température 900°C de cuisson pour les quatre types de briques sont supérieur 2,5MPa dans les normes de construction ASTM-C674, 1999.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif de cette étude est d'améliorer la qualité des briques par deux types d'argiles par l'ajout d'une source naturelle.

L'étude minéralogique et chimique ont été réalisées par plusieurs méthodes d'analyses DRX, FRX et IRTF, permettant ainsi de définir la nature des argiles. L'argile de Bouira est riche en : Quartz (47,05%), alumine (12,43%) par rapport à l'argile de Remila : Quartz (34,9%), alumine (12,2%) par contre l'argile de Remila est riche en : Oxyde de calcium (30%), PAF (20,39%) fer (11,6%) par rapport à l'argile de Bouira : Oxyde de calcium (11,46%), PAF (17,79%) et fer (5,13%),

L'argile de Bouira ayant une forte teneur en Quartz plus de 47,05% permet de la classer comme une argile siliceuse assez dure, alors que L'argile de Remila contient une forte teneur en calcium plus de 30 %, ce qui nous permet de la considérer comme étant une argile calcaireuse très maniable et plastique.

D'après les résultats des essais mécaniques obtenus on conclut que les meilleurs résultats de la résistance à la compression sont enregistrés à la température 900°C pour les quatre types des briques (MG1 : 13,935MPa, MG2 : 31,35MPa, le MG3 : 34,6MPa et le MG4 : 38,95MPa).

En ce qui concerne la résistance à la flexion, les meilleurs résultats sont obtenus à la température 900°C du MG1 (2,53MPa), MG2 (2,69MPa), MG3 (3,2025MPa) et MG4 (4,038MPa).

On peut conclure que les meilleurs résultats trouvés pour la résistance à la flexion sont enregistrés à une température de cuisson de 900°C, pour les quatre types de briques, et ils sont supérieurs à 2,5MPa conformément aux normes de construction ASTM-C674, 1999..

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] Lynch, G., 1994. Brickwork: history, technology (in italics) and practice. London: Donhead
- [2] Alviset, L, Komman, M.,2009. Matériaux de terre cuite- Propriétés et produits Editions Techniques de l'ingénieur-C906-1.
- [3] Komman, M.,2009. Matériaux de constructions en terre cuite-Fabrication et propriétés LivreEdition Septima.
- [4] Chpu,M,Chou,J pastel,V,Pickering,M,stucki,J,2004,manufacturing fired bricks with class Ffly ash from Illinois basins coals.final reports to the Illinois clean coal institute 2006.
- [5] Bories, C., Borredon, M.-E., Vedrenne, E., Vilarem, G., 2014. Development of ecofriendlyporous fired clay bricks using pore-forming agents: A review.
- [6] Boucif, N.,& Ayad, F. (2017). Matériau terre : étude de la résistance au cisaillement etretrait.
- [7] Lucien Alviset, L, Komman, M.,2009. Matériaux de terre cuite- Propriétés et produits Editions Techniques de l'ingénieur-C905-2.
- [8] Dr. Guettouche Amar, "Identification et classification des sols," université Ferhat abbas,Setif, page. 31. 2015.
- [9] C. E. (Charles E.) "Weaver, Clays, muds, and shales, vol. 44". Elsevier, 1989.
- [10] M. E. Tucker, "Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary" 3rdedition, 2001.
- [11] OFFPT, brique (matériau).php,21 :10,10/01/2019, connaissance des différents matériaux de construction, résumé théorique et guide de travaux pratiques, office de le formation professionnelle et de la promotion du travail direction recherche et ingénierie de formation, royaume du maroc.
- [12] Edition le moniteur, Paris 1998 ; Collection mémento technique « Tuiles et briques de terre cuite ».
- [13] Propriété de la briqueterie DPR AXXAM, « annexe 1° Descriptif technique » (2013).
- [14] Rapport d'exploration géologique de la SARL DPR AXXAM.
- [15] « PROPRIETE DE LA SOCIETE BRIQUETRIE REMILA », fiche technique, [2007]

Références bibliographiques

- [16] Chahma Sabah, Juin 2018, “ Etude des propriétés thermo-mécanique des briques en terre gypse traditionnel (temchent) stabilise par le ciment ou par la chaux, mémoire de fin d’étude master.
- [17] Achour Soufiane, Alouane Walid, 2015-2016 « optimisation des paramètres de l’extraction de l’or par cyanuration-cas de la mine d’Amesmessas, mémoire master.
- [18] Ghribi.ma ;ounas.MWR ;2019, « Etude de l’effet des ions ferrique sur l’extraction de l’or-cas de la mine d’Amesmessas, mémoire de fin d’étude master.
- [19] SALHI Malek, 2015,« valorisation des terres décolorantes dans la production de brique, mémoire de magister.
- [20] Michel Kornmann avec l'assistance des ingénieurs du Centre Technique des Tuiles et Briques " Matériaux de construction en terre cuite Fabrication et propriétés" Éditions Septima 2005
- [21] Dehmani, Younes; Abouarnadasse, Sadik (2020). Study of the adsorbent properties of nickel oxide for phenol depollution. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(5), 5312–5325. doi:10.1016/j.arabjc.2020.03.010
- [22] Apriandanu, Dewangga Oky Bagus; Yulizar, Yoki (2020). CuO-bentonite-gold nanocomposites: facile green preparation and their characterization. *Materials Letters*, (), 128911–. doi:10.1016/j.matlet.2020.128911
- [23] Nedjima Bouzidi. Influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson.. Autre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2012. Français. NNT:2012EMSE 0660. tel- 00847400
- [24] Taha Yacine, Janvier 2017, « VALORISATION DES REJETS MINIERES DANS LA FABRICATION DE BRIQUES CUITES : ÉVALUATIONS TECHNIQUE ET ENVIRONNEMENTALE », thèse de doctorat.
- [25] Roskosz, M., Gillot, J., Capet, F., Roussel, P., & Leroux, H. 2009, *ApJ Letter*, 707, L174
- [26] Yang, C., Cui, C., Qin, J., Cui, X., 2014. Characteristics of the fired bricks with lawsiliconiron tailings. *Construction and Building Materials* 70, 36-42

Résumé

L'industrie de terres cuites, est confrontée aux problèmes de fragilité de la brique fabriquée causé par la présence de charge, la présente étude est focalisée sur la caractérisation de l'argile de Taghzout (Bouira) et l'argile de Remila (Bejaia) en vue de leur utilisation dans le secteur de fabrication de brique de construction.

Dans ce présent travail, nous avons effectué une étude sur les caractéristiques minéralogique et chimiques de deux types d'argiles différents celle de Bouira (1) et celle de Oued Remila (2), plus un ajout d'un dégraissant (sable). Nous avons procédé à la fabrication de brique en incorporant divers pourcentages des deux types d'argiles avec le sable tout en respectant les différentes étapes de fabrication de brique et en variant la température de cuisson. Les études minéralogique et chimique ont été réalisées par plusieurs méthodes d'analyses DRX, FRX, IF préliminaires, permettant de définir la nature des argiles.

L'argile de Bouira ayant une forte teneur en silicium plus de 47,05% permet de la catégoriser comme étant une argile siliceuse assez dure et absorbante, alors que l'argile de Remila contient une forte teneur en calcium plus de 30 % ce qui permet de la catégoriser comme étant une argile calcaireuse très maniable et plastique.

Mots clé : argile, Bouira, Remila, caractérisation et brique.

Abstract

The terracotta industry is confronted with the problem of fragility of the fabricated brick caused by the presence of charge, the present study is focused on the characterization of the clay of Taghzout (Bouira) and the clay of Remila (Bejaia) in view of their use in the sector of fabrication of building brick.

In this work, we have realized a study on the mineralogical and chemical characteristics of two different types of clays, the first type of Bouira clay (1) and the second type of Oued Remila clay (2), plus an addition of a degreaser (sand). We proceeded to the fabrication of brick by incorporating various percentages of the two types of clays with the sand while respecting the different steps of brick fabrication and by varying the firing temperature.

The mineralogical and chemical studies were carried out by several methods of analysis DRX, FRX, IRTF preliminary, allowing to define the nature of clays: The clay of Bouira having a strong content of silicon more than 47,05% allows to categorize it as being a rather hard and absorbing siliceous clay and whereas the clay of Remila contains a strong content of calcium more than 30 % which makes it possible to categorize it as being a very manageable and plastic calcareous clay

Key words: Clay, Bouira, Remila, characterization and brick.

المخلص

صناعة الطوب تواجه مشكلات هشاشة الطوب المصنوعة نتيجة وجود مواد حشو، وتركز هذه الدراسة على توصيف طين تاغزوت (بويرة) وطين رميلة (بجاية) لاستخدامهما في صناعة طوب البناء.

في هذا العمل، أجرينا دراسة عن خصائص التركيب المعدني والكيميائي لنوعين مختلفين من الطين، وهما طين بويرة (1) وطين واد رميلة (2)، بالإضافة إلى إضافة مادة مساعدة (رمل). قمنا بتصنيع الطوب عن طريق إدخال نسب متنوعة من الطينين مع الرمل، مع الالتزام بمراحل تصنيع الطوب المختلفة وتغيير درجة حرارة الخبز. تمت دراسات التركيب المعدني والكيميائي بواسطة عدة أساليب تحليل مثل (DRX) و (FRX) و (IF) السابقة، مما سمح بتحديد طبيعة الطين.

يحتوي طين بويرة على نسبة عالية من السيليكون تزيد عن 47.05٪، مما يسمح بتصنيفه كطين ذو نسبة عالية من السيليكون وصلب وامتصاصي، في حين أن طين رميلة يحتوي على نسبة عالية من الكالسيوم تزيد عن 30٪، مما يسمح بتصنيفه كطين جيري قابل للتشكيل والمرونة.

كلمات مفتاحية: طين، بويرة، رميلة، توصيف، طوب.