

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

Université Abderrahmane MIRA- Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention d'un diplôme du Master en Génie Civil

Option : Structures

Thème

**Evaluation des performances de la brique de terre cuite
avec ajouts de farines de matière organique**

Réalisé par :

- BESSOU Fares
- CHAOUADI Cylia

Encadreur :

- M^{me} S. AREZKI

Membres de jury :

- M^r A. LAICHAOUI
- M^{me} F. SOUIDI

2022/2023

Remerciement

Avant toute chose, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers ALLAH le tout puissant pour nous avoir guidées et soutenues tout au long de notre vie ainsi que pendant la réalisation de ce travail en nous accordant la santé le courage et la volonté nécessaires.

Nous tenons également à exprimer notre reconnaissance envers nos familles, qui nous ont encouragées et soutenues depuis le début de notre parcours d'études, nous apportant ainsi un précieux soutien.

Nous aimerions adresser nos sincères remerciements à notre promotrice madame S. Arezki pour son encadrement, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de ce projet. Nous tenons aussi à remercier Mr BENTOUHAMI. Le chef de service des essais du ITPE et unité de Sétif pour sa générosité et sa bienveillance Mr le technicien du labo physico-chimiques de Bejaia pour la réalisation des spectre du DRX.

Nos remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail, en y consacrant leur temps et leurs expertises.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers tous les enseignants qui ont contribué à notre formation tout au long de notre parcours universitaire, en partageant leurs connaissances et en nous accompagnant dans notre apprentissage.

Enfin, nous tenons à remercier sincèrement toutes les personnes qui ont contribué de près ou du loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail
A mon père et ma mère
A mes frères Fayed et Wassim
A l'ame de mon grand-père Hocine
A ma collegue Cylia
A ceux qui m'aiment
A ceux que J'aime
A tous mes amis.*

B.Fares

Dédicace

*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur
qu'on dédie Du fond du cœur à ceux qu'on aime et
qu'on remercie en exprimant La gratitude et la
reconnaissance durant toute notre existence.*

*Je dédie ce
modeste travail
:À Ceux que
j'aime :*

*Mon père et ma mère qui ont toujours été
présent pour me Soutenir, me conseiller,
sacrifient pour moi et m'avoir permis D'arriver
à ce stade d'éducation.*

Je le dédie aussi à :

*Mes frères et mes sœurs, qui mon soutenus et crus en moi lors de mon
parcours*

*Et à celui avec qui j'ai partagé ce travail
avec moi mon Binôme Fares.*

*À tous mes camarades que j'ai eu le privilège de connaître durant la
Période universitaire.*

Merci à tous

C. Cylia.

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Figure I.1	Illustration de l’empilement des feuillets d’argile montrant les surfaces basales, les bordures des particules, ainsi que les espaces inter feuillets	3
Figure I.2	Cristaux de chlorite et de kaolinite vus au microscope électronique à balayage	3
Figure I.3	Eléments structuraux : les tétraèdres (Eslinger & Peaver).....	4
Figure I.4	Eléments structuraux : les octaèdres (Eslinger & Peaver)	4
Figure I.5	Représentation schématique d’un feuillet de phyllosilicate [Luckharm et Rossi].....	5
Figure I.6	Structure des minéraux argileux	6
Figure I.7	Forme principale des minéraux argileux	9
Figure I.8	Comalcalco, Mexique	10
Figure I.9	Brique émaillée.....	10
Figure I.10	Briques pleines de terre cuite.....	12
Figure I.11	Diagramme de Production de briques d’argile	13
Figure I.12	Brique pleines et perforées	15
Figure I.13	Brique pleine.....	16
Figure I.14	Briques perforées.....	16
Figure I.15	Briques creuses de terre cuite à perforations horizontales.....	17
Figure I.16	Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G	17
Figure I.17	Brique réfractaire	18
Figure I.18	Brique de verre	18
Figure I.19	Brique de pavage	19
Figure I.20	Sable	21
Figure I.21	Chaux en poudre	21
Figure I.22	Différentes poudres d’Oxyde de fer.....	22
Figure I.23	Section transversale et composition physique du fruit de l’olivier	23
Figure.I.24	Structure de la cellulose.....	25
Figure I.25	Fruit de la noix.....	27

LISTE DES FIGURES

Figure.I.26 Paillage de jardin.	28
--------------------------------------	----

Chapitre II : Caractérisation et analyses des matériaux

Figure II.1. Appareil de Casagrande.....	32
Figure II.2. Représentation des limites d'Atterberg	33
Figure II.3. Essai de détermination de la limite de liquidité(ω_L)	34
Figure II.4. Détermination de la limite de liquidité ω_L	35
Figure II.5. Courbe de la limite de liquidité ω_L	35
Figure II.6. Essai de détermination de la limite plasticité (ω_p).....	36
Figure. II.7. Diagramme de plasticité de sol à grains fins. [56]	39
Figure. II.8. Appareil DRX (PANalytical EMPYREAN)	42
Figure. II.9. Loi de Bragg donnant les directions où les interférences sont constructives	43
Figure. II.10. Diffractomètre de l'argile	43
Figure. II.11. Essai de la sédimentation sur l'argile utilisée.....	46
Figure. II.12. Courbe granulométrique de l'échantillon utilisée.	47
Figure II.13. Section transversale (a) et composition physique de l'olive (b).....	48
Figure II.14. ATD de l'argile.	50
Figure II.15. ATG de l'argile.	51
Figure II.16. Comparaison ATD ATG de l'argile.....	51

Chapitre III : Essais et discussions

Figure III.1. Broyage de l'argile.....	53
Figure III.2 Malaxeur à mortier.....	54
Figure III.3. Echantillon de briques façonnés à l'aide de malaxeur séchés à l'air libre.	55
Figure III.4. Echantillon de briques séchés à l'étuve à 105°C	56
Figure III.5. Echantillon de briques au four à 950°Ccéramiques.	56
Figure III.6. Perte en poids au séchage en fonction du pourcentage d'ajout.....	58
Figure III.7. Retrait au séchage en fonction du pourcentage d'ajout.....	59

LISTE DES FIGURES

Figure III.8. Perte au feu en fonction du pourcentage d'ajout à une température de 950°C	60
Figure III.9. Retrait après cuisson en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C.....	61
Figure III.10. Les échantillons à l'état de saturation.	62
Figure III.11. Dispositif de la pesés hydrostatique.....	63
Figure III.12. Evolution de la porosité en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C.	64
Figure III.13. Evolution du pourcentage d'absorption en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C.....	65
Figure III.14. Détermination du coefficient d'absorption d'eau.....	66
Figure III.15. Evolution du coefficient d'absorption en fonction du pourcentage d'ajout.....	67
Figure III.16. Evolution de la masse volumique apparente en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C.....	68
Figure III.17. Essai de la résistance à la compression	69
Figure III.18. Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C.....	70
Figure III.19. Essai au CT-mètre.....	72
Figure III.20. Conductivité thermique en fonction du pourcentage d'ajout.	73

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Synthèses bibliographiques

Tableau I.1 Minéraux inter stratifiés naturels les plus courants	5
Tableau I.2 Application de la Loi de Stockes à des particules sphérique.....	8
Tableau I.3 Propriétés des briques pleines et perforées	19
Tableau I.4 Résistance thermique des briques pleins et perforés.....	19
Tableau I.5 Intervalle de tolérance de chacun des composants de l'argile favorable à la fabrication de la brique de terre cuite	20
Tableau I.6 Compositions chimiques des différents types de grignons.....	24
Tableau I.7 Champs d'application des sous-produits de l'olivier	26

Chapitre II : Caractérisation et analyses des matériaux

Tableau II.1 Teneur en eau de l'argile à l'état naturel.	32
Tableau II.2: Calcul de la limite de plasticité	37
Tableau II. 3. Estimation de la plasticité d'un sol.....	37
Tableau II. 4. Etat du sol en fonction de la consistance	38
Tableau II.5.la limite d'Atterberg de l'argile utilisée	38
Tableau II.6. Composition chimique de l'argile utilisée	40
Tableau II.7 Composition minéralogique de l'argile rouge	43
Tableau II.8. Composition chimique des composants de l'olive mûre [62] [63]	48
Tableau II.9. Composition chimique des ajouts utilisée (CGO,CN)	49

Chapitre III : Essais et discussions

Tableau III.1. Les teneurs en eau de façonnage.....	55
Tableau III.2. Perte en poids au séchage des échantillons aux différents pourcentages de l'ajout.....	57
Tableau III.3. Retrait au séchage de l'ensemble des échantillons	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.4. Perte au feu de l'ensemble des échantillons cuits a une température de 950°C.....	60
Tableau III.5. Retrait à la cuisson l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C.	61
Tableau III.6. Porosité de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C.....	63
Tableau III.7. Absorption d'eau de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C	64
Tableau III.8 Limite admissible du coefficient d'absorption d'eau.....	66
Tableau III.9. Coefficient d'absorption des échantillons.....	66
Tableau III.10. La masse volumique apparente de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C	67
Tableau III.11. Résistance à la compression de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C	69
Tableau III.12. Résistances à la compression (NA5023) et masse volumique apparente (NA5022) des produits rouges en terre cuites	70
Tableau III.13. Conductivité thermique de quelque substance [72].....	71
Tableau III.14. Résultat de la mesure de la conductivité thermique et la chaleur spécifique	72

LISTES DES ABREVIATIONS

CN	Coque des noix.
CGO	Coque de grignons d'olive.
ATG	Analyse thermique différentielle
ATD	Analyse thermique gravimétrique.
DRX	Diffraction aux rayons X.
Lp	Longueur de la brique à l'état plastique (après façonnage).
Ls	Longueur de la brique au séchage.
Lf	Longueur de la brique après cuisson.
NA	Normes algérienne.
PF	Perte au feu.
Ps	Perte en poids au séchage.
Rs	Retrait au séchage.
WP	Poids de la brique à l'état plastique (après façonnage).
WS	poids de la brique au séchage.
WF	poids de la brique après la cuisson

INTRODUCTION GENERALE

Développement durable, utilisation rationnelle de l'énergie, protection des ressources naturelles font désormais partie de notre quotidien. Ces dernières années, la gestion des déchets est devenue une préoccupation importante à l'échelle mondiale. La réglementation impose la valorisation de ces déchets afin de limiter les quantités mises en décharge et de préserver les ressources naturelles. C'est ainsi que dans le domaine de la céramique, certains déchets organiques sont utilisés pour l'élaboration des matériaux de construction telle la brique de terre cuite.

Ce procédé permet de limiter les déchets jetés dans la nature d'une part et d'autre part ; d'économiser l'énergie en mettant en œuvre des matériaux poreux présentant un pouvoir d'isolation accrue.

Ces économies d'énergie sont plus que jamais à l'ordre du jour. Elles demeurent l'un des moyens efficaces dans la sauvegarde de l'écosystème. Une baisse de la consommation d'énergie représente pour l'individu une réduction de dépenses et pour *la société* une protection de l'environnement. Il s'avère donc important de pouvoir réduire la transmission de la chaleur à travers les bâtiments afin de diminuer la consommation énergétique et par ce fait les coûts.

Nous proposons dans ce travail de mettre au point des briques de terre cuite avec incorporation de matières végétales. L'objectif est de produire des briques à faible masse volumique et dont les conductivités thermiques sont suffisamment faibles pour que les matériaux obtenus soient judicieux pour une isolation thermique.

Dans ce chemin de recherches, plusieurs résidus organiques ont été déjà mis à l'épreuve par exemple les cendres volantes, les pailles, les cendres des balles de riz et les coquilles d'œufs.

Le choix des ajouts utilisés dans notre recherche se justifie par les points suivants :

1. *Grignon d'olive* : L'Algérie est l'un des plus grands producteurs d'olives au monde, et par conséquent, le grignon d'olive est généralement disponible en quantités importantes dans le pays particulièrement dans la région de la Kabylie. L'industrie oléicole algérienne produit une grande quantité d'huile d'olive, ce qui génère des quantités significatives de grignon d'olive en tant que sous-produit.

Le grognon d'olive présente-certains inconvénients pour l'environnement comme :

INTRODUCTION GENERALE

- Pollution des eaux : Lorsque le grignon d'olive est mal stocké ou éliminé, il peut entraîner une pollution des eaux.
 - Impact sur les sols : Si le grignon d'olive est mal géré, son accumulation dans les sols peut entraîner des problèmes de contamination et d'altération des caractéristiques du sol
 - Émissions de gaz à effet de serre : La décomposition anaérobie du grignon d'olive peut entraîner des émissions de gaz à effet de serre, en particulier du méthane, un gaz ayant un potentiel de réchauffement climatique élevé. Lorsqu'il est stocké ou éliminé dans des conditions non contrôlées.
2. *Coque de noix* : compte aussi parmi les matériaux les plus abondants et de plus il a aussi l'avantage thermique et du moindre coût. C'est un produit naturel qui possède d'importantes caractéristiques qui le rendent à la fois utile et nécessaire à plusieurs branches d'activités industrielles.

L'argile, matière première dans la réalisation de notre travail provient d'une carrière dans la wilaya de BOUMERDES. Cette argile est rouge à cause de son grand pourcentage d'oxyde fer (Fe_2O) et du petit pourcentage de chaux (CaO).

Ce travail présente une étude expérimentale sur l'influence de deux déchets végétaux (grignon d'olive et coque de noix) sur les performances de la brique de terre cuite. Il sera composé de trois chapitres :

Le premier chapitre intitulé synthèse bibliographique, nous fournit une idée sur l'argile matière de base, ses diverses définitions, ses types et sa composition chimique, l'historique de son emploi dans la construction. Ensuite nous définissons d'une manière globale la brique de construction. Et nous terminons le chapitre par une présentation des deux déchets végétaux utilisés.

Le deuxième chapitre est consacré à la caractérisation des matières premières utilisées (argile, grignon d'olive et coque de noix) ainsi qu'aux modes opératoires des procédés d'analyses physico-chimique réalisés dans notre recherche.

Le chapitre trois sera dédié à la présentation des résultats physico-thermique et mécanique de la brique confectionnée avec les discussions et interprétations appropriées.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale qui synthétise les résultats retrouvés et trace une esquisse sur les perspectives possibles pour la poursuite de ces pratiques dans la construction.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Introduction

Dans ce premier chapitre des notions et définitions générales sur l'argile, la brique et les ajouts végétaux à utiliser dans notre recherche ont été sélectivement effectuées. Les différentes étapes du processus de fabrication de la brique cuite, depuis la préparation de la matière première jusqu'à l'obtention de produit final sont notifiées. Nous avons aussi donné un aperçu sur les ajouts (grignon d'olive et noix) que nous allons expertiser en les utilisant comme ajouts dans la fabrication de la brique de terre cuite.

I.1. Argiles

I.1.1. Introduction

L'argile est une matière première utilisée depuis des millénaires d'années. Elle est largement utilisée dans l'industrie céramique pour la fabrication de carrelages et de porcelaines[1]. Leur capacité à se modeler facilement et à durcir lors de la cuisson en fait d'elle un matériau de choix pour ces applications. De plus, les argiles peuvent être mélangées avec d'autres substances pour obtenir différentes couleurs et textures, ce qui permet une grande variété de créations artistiques.

Dans le domaine de la construction, les argiles sont utilisées pour la fabrication des briques, de tuiles et d'enduits. Elles sont appréciées pour leur résistance, leur durabilité et leur capacité à réguler l'humidité [2]. Les argiles expansives, qui gonflent en présence d'eau, sont également utilisées dans les fondations des bâtiments pour compenser les mouvements du sol.

I.1.2. Définition

Le mot argile vient du latin « argilla » ou du grec « argillos » dont « terracotta » vient de "argos" signifie blanc [3]. C'est la couleur du matériau utilisé dans la céramique qui a conduit Les anciens lui ont donné ce nom. L'argile est un matériau naturel formé par la dégradation des roches silicatées sous l'action des intempéries et des agents chimiques. Ils sont principalement constitués de minéraux argileux, qui sont des silicates d'aluminium hydratés, de magnésium, de fer ou de sodium.

L'argile possède de nombreuses propriétés physiques et chimiques qui la rend utile dans de nombreux domaines, tels que la construction, la céramique, l'agriculture, la médecine et les cosmétiques. Ils ont une capacité d'absorption élevée, une grande plasticité, une forte cohésion et une faible perméabilité à l'eau. Il n'existe pas de définition unique du terme "argile". Le mot englobe deux connotations, l'une liée à la taille des grains et l'autre à la minéralogie [4].

I.1.3. Minéraux argileux

Les minéraux argileux résultant de la destruction des roches, peuvent soit rester sur place (argiles résiduelles, ex : argiles à silex, argiles de décalcification). Soit être transportées sur de longues distances (ex : argiles des fonds océaniques).

En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultant sont différents.

- En climat froid; l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine.
- En climat chaud et humide, l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, les smectites en milieu confiné.
- En climat tempéré, humide, l'altération est modérée, il apparaît des interstratifiés, des illites et chlorites dégradées, de la vermiculite[5].

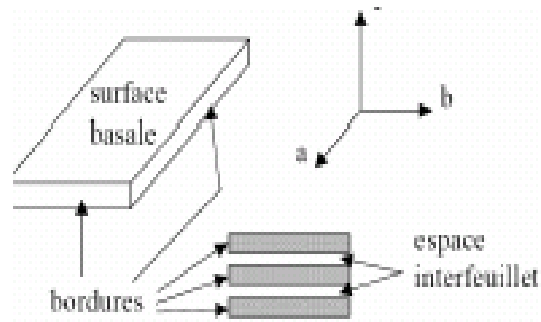


Figure I.1. Illustration de l'empilement des feuillets d'argile montrant les surfaces basales, les bordures des particules, ainsi que les espaces inter feuillets

I.1.3.1. Aspect et définition microscopique

L'examen de roches argileuses au microscope montre que la plupart des minéraux sont des paillettes silicatées, en général plus petites que les micas, mais apparentés à ceux-ci, physiquement et optiquement. On définit donc cette fois les argiles en tant que famille minérale appartenant aux phyllosilicates. Pour éviter les confusions, il est donc préférable de parler de "minéraux argileux", ou phyllites[9].

Au microscope optique, certains de ces minéraux peuvent être distingués :

- La kaolinite, en petits feuillets hexagonaux s'empilant parfois en boudins,
- Le chlorite, de couleur verte caractéristique,
- Attapulgite et sépiolite en fibres

La Figure I.2., montre les cristaux de chlorite et de kaolinite vus au microscope électronique à balayage.

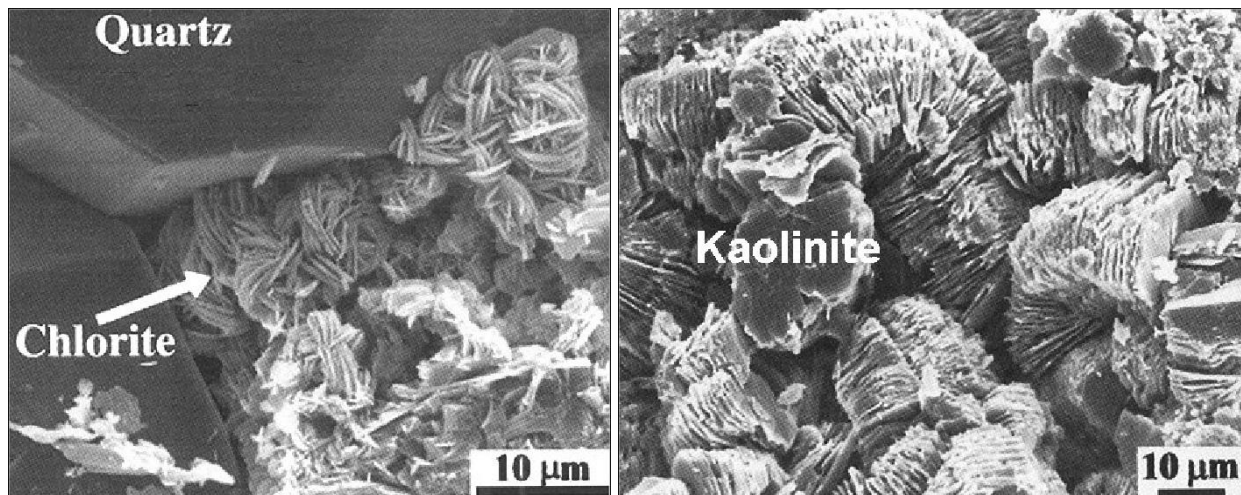


Figure I.2 : Cristaux de chlorite et de kaolinite vus au microscope électronique à balayage [5]

I.1.3.2 Type des minéraux argileux

Les argiles sont formées à partir d'éléments structuraux élémentaires :

- Les tétraèdres de silice (SiO_4) : un feuillet de tétraèdre est une combinaison d'unités tétraédriques de silice composées de quatre atomes d'oxygène entourant un atome de silicium

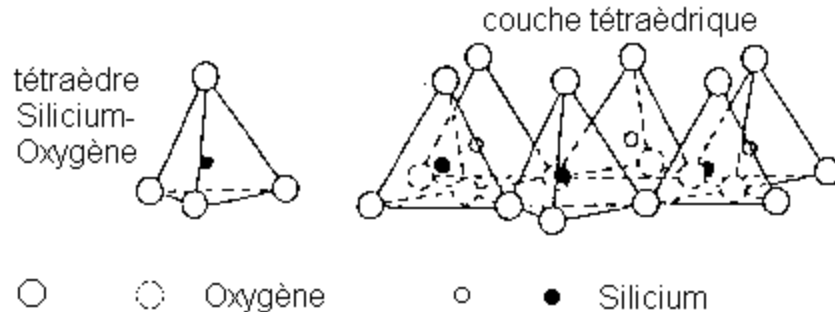


Figure I.3 : Eléments structuraux : les tétraèdres (Eslinger & Peaver)

- Les octaèdres d'aluminium ($Al(OH)_6$): un feuillet d'octaèdre est une combinaison d'unités octaédriques composées de six atomes d'hydroxyle entourant un atome d'aluminium (figure I.4).

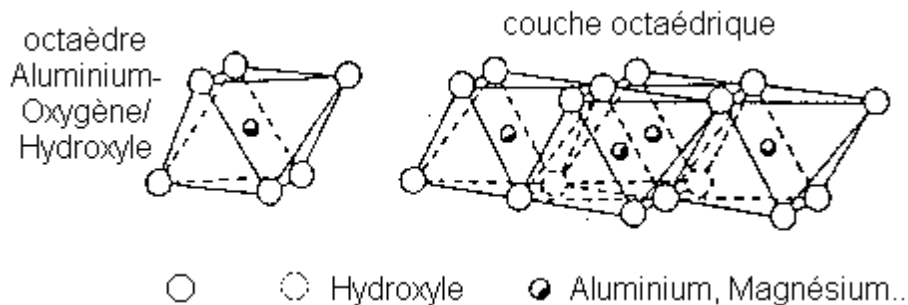


Figure I.4 : Eléments structuraux : les octaèdres (Eslinger & Peaver)

Ces éléments structuraux sont associés en deux types de feuillets tétraédriques et octaédriques et reliés entre eux par la mise en commun d'oxygènes

Les substitutions d'atomes sont fréquentes dans les feuillets : l'aluminium remplace le silicium dans les tétraèdres, le magnésium ou le fer remplace l'aluminium dans l'octaèdre.

Il est possible de distinguer les types de minéraux argileux à partir des critères suivants :

- Le nombre de couches d'octaèdres et de tétraèdres dans le feuillet élémentaire (une deux)
- L'équidistance entre deux feuillets dans les conditions naturelles.
- La variabilité de l'équidistance entre deux feuillets sous l'action de traitements variés.
- Les différents groupes de minéraux argileux se différencient par l'arrangement de leurs couches tétraédriques et octaédriques représentés sur la figure I.5.

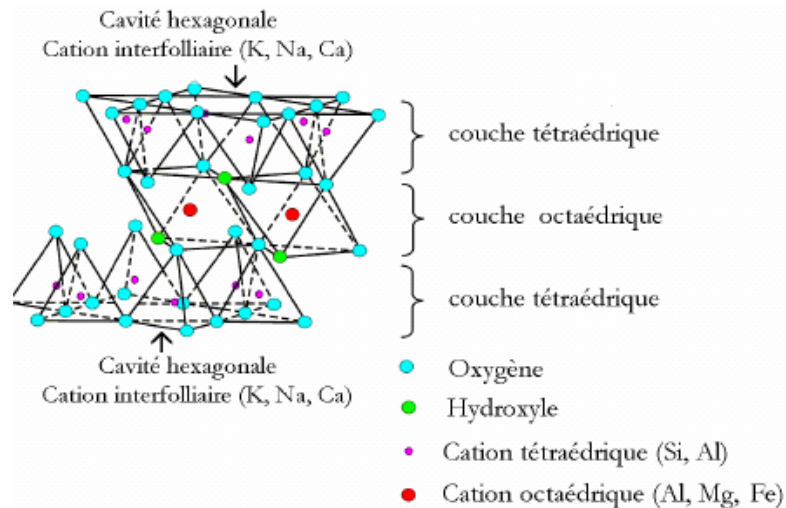


Figure I.5: Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate [Luckharm et Rossi]

I.1.3.3. Famille des minéraux inter stratifiés

Le minéral inter stratifié régulier est formé de l'empilement régulier de feuillets de minéraux argileux simples différents (par exemple A-B-A-B-A-B...).

Un inter-stratifié est considéré comme irrégulier si l'empilement des différents types de feuillets est aléatoire, c'est-à-dire qu'il ne dessine aucune séquence répétitive (Tableau I.1) [6].

Tableau I.1 : Minéraux inter stratifiés naturels les plus courants

Type d'inter stratification	
Alternance régulière Système à deux composés	Muscovite-montmorillonite
	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
	Chlorite-smectite
	Chlorite-vermiculite
	Mica-vermiculite
	Serpentine-chlorite
	Kaolinite-smectite
Alternance de type ABAA Système à deux composés	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
Alternance aléatoire Système à deux composés	Illite-smectite
	Glaucosite-smectite
	Mica-vermiculite
	Mica-chlorite
	Smectite-chlorite
	Kaolinite-smectite
Système à trois composés	Illite-chlorite-smectite

I.1.4. Types d'argile

Il existe plusieurs types d'argiles, qui se distinguent par leur composition chimique, leur structure cristalline et leurs propriétés physiques[7]. Ces types d'argiles ont des propriétés différentes et sont utilisées dans des applications spécifiques en raison de leurs caractéristiques particulières.

La Figure I.6., nous montre la structure des minéraux argileux.

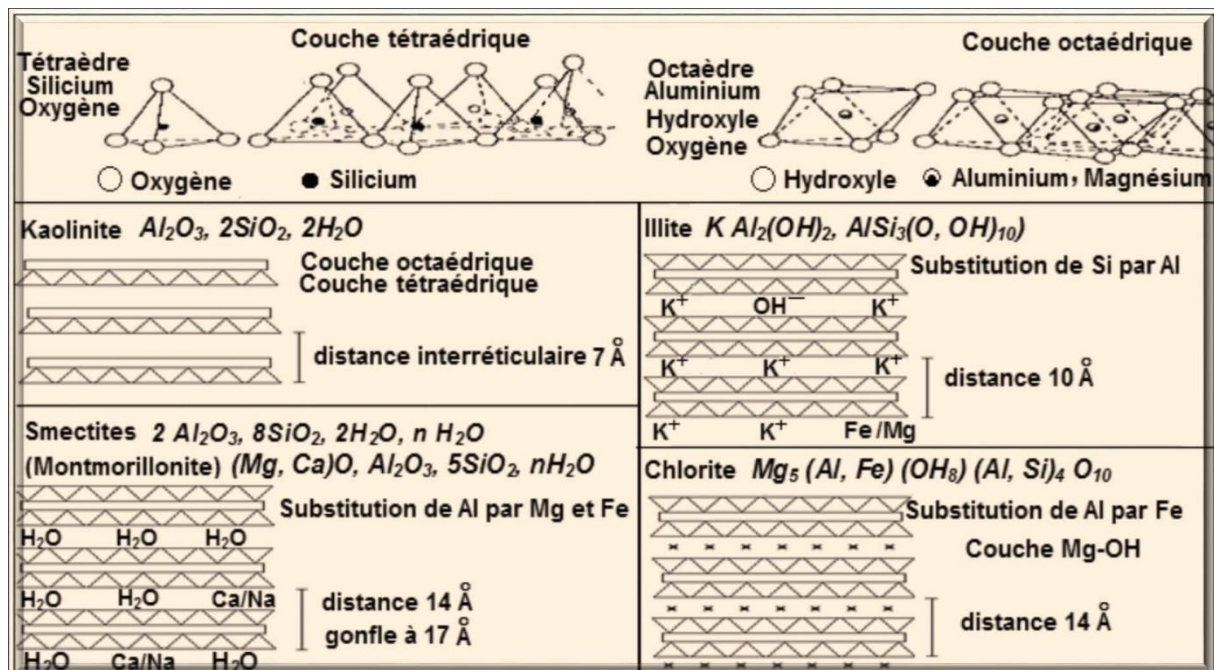


Figure I.6: Structure des minéraux argileux

I.1.4.1. Kaolinite

C'est une argile blanche ou jaune pâle, qui est principalement composée de silicate d'aluminium hydraté. Elle est utilisée dans la fabrication de porcelaine, de papier et de cosmétiques.

La kaolinite est un minéral argileux du groupe des silicates, et plus spécifiquement du sous-groupe des phyllosilicates. Il s'agit d'un minéral très courant et abondant, qui se forme principalement par l'altération chimique des roches riches en feldspath potassique, comme le granite ou le gneiss. La kaolinite est largement utilisée dans diverses industries, y compris la céramique, le papier, les cosmétiques et l'industrie pharmaceutique.

La kaolinite se présente sous forme de fins cristaux ou de particules lamellaires de couleur blanche à beige. Sa structure cristalline est composée de feuillets empilés, dans lesquels des atomes de silicium, d'oxygène et d'aluminium sont liés par des liaisons chimiques. La kaolinite possède une faible plasticité, ce qui signifie qu'elle n'est pas très déformable lorsqu'elle est humidifiée. [8]

I.1.4.2. Montmorillonite

C'est une argile verte ou bleue, qui est composée de silicate d'aluminium hydraté et de magnésium. Elle a une grande capacité d'absorption d'eau et est utilisée dans la fabrication de

produits pharmaceutiques, de produits cosmétiques et de boues de forage.

I.1.4.3. Illite

C'est une argile blanche, grise ou verte, qui est composée de silicate d'aluminium hydraté et de potassium. Elle est utilisée dans la fabrication de céramiques, de ciments et de produits réfractaires.

I.1.4.4. Smectite

C'est une argile qui comprend plusieurs espèces, dont la montmorillonite. Elle est utilisée dans la fabrication de boues de forage, de produits pharmaceutiques et de produits cosmétiques.

I.1.5. Propriétés des argiles

Les argiles sont des minéraux très abondants dans la croûte terrestre, qui se caractérisent par leur taille de particules extrêmement fines et leur capacité à absorber de l'eau. Les propriétés des argiles sont nombreuses et variées, et sont étudiées dans de nombreux domaines scientifiques, tels que la géologie, la géotechnique, la chimie, la biologie et la science des matériaux

I.1.5.1. Adsorption d'eau

Les argiles ont une grande capacité d'adsorption, c'est-à-dire la capacité à retenir des substances à leur surface. Cette propriété est très utile en chimie environnementale pour éliminer des polluants des eaux usées. Une étude publiée en 2021 a montré que des argiles modifiées pouvaient adsorber efficacement des métaux lourds dans l'eau, tels que le plomb et le cuivre [10].

I.1.5.2. Gonflement

Les argiles ont la propriété de gonfler en présence d'eau et de se contracter en son absence. Cette propriété est très importante en géotechnique pour étudier le comportement des sols argileux lors de la construction de bâtiments ou de routes [11].

I.1.5.3. Plasticité

Les argiles ont une grande plasticité, c'est-à-dire qu'elles peuvent être déformées sans se rompre. Cette propriété est très utile en céramique et en poterie pour façonner l'argile à la main. Une étude a montré que l'ajout de nanoparticules d'argile à des matériaux composites améliore leur résistance à la rupture et leur ténacité [12].

I.1.5.4. Conductivité électrique

Les argiles sont des matériaux semi-conducteurs, c'est-à-dire qu'ils ont une conductivité électrique faible mais non nulle. Cette propriété est très utile en électronique pour fabriquer des composants à base d'argile. Une étude publiée en 2021 a montré que des argiles modifiées pouvaient être utilisées pour fabriquer des capteurs de gaz à haute sensibilité [13].

I.1.5.5. Capacité d'échange de cations

Les argiles ont la capacité d'échanger des ions avec leur environnement, ce qui leur permet de jouer un rôle important dans la nutrition des plantes et des micro-organismes. Cette propriété est très utile en agriculture pour améliorer la fertilité des sols. Une étude publiée en 2020 a montré que l'application d'argiles modifiées pouvait améliorer la croissance des plantes et la qualité des fruits[14].

I.1.5.6. Dispersion dans l'eau et floculation

Les particules fines restent en suspension dans l'eau agitée ;elles décantent dans l'eau immobile avec une vitesse de chute très faible(LoideStockes).En eau salée,elles s'agglomèrent (floculation) et précipitent plus rapidement[5].

La loideStockes est donnée par l'équation 1

$$v = C d^2(1)$$

v :vitesse de chute

d :diamètre de la particule

C :constante de Stockes dépendant de la différence de densité entre particuleet liquide ,de la viscosité du liquide et de l'accélération de la pesanteur

Tableau I.2. :Application de la Loi de Stockes à des particules sphérique.

Diamètre(m)	Temps pour parcourir 1m(à20°C)	Vitesse de chute(cm/s)
60	(minutes)	0,3
16	1heure12	0,02
4	19heures	.
2	3jours 5heures	.
1	13jours	.
0,1	1293jours	.

I.1.5.7. Surface spécifique

La surface spécifique est l'un des paramètres physiques les plus importants dans la caractérisation des minéraux argileux. Sa connaissance est très utile car elle permet d'évaluer, les propriétés de surface d'un matériau et d'estimer ses surfaces internes et externes potentiellement actives[15].

Dans le cas des minéraux argileux gonflants, la surface totale se compose de deux types, l'une externe correspondant à la somme des surfaces basales et latérales et l'autre interne correspondant à l'espace inter foliaire, en revanche pour les minéraux non gonflant la surface est égale à la surface externe [16].

Les argiles se présentent sous trois formes ; en flacon, en latte et en aiguilles (la plusrare). les différentes formes sont présentées dans la Figure I.7., [17].

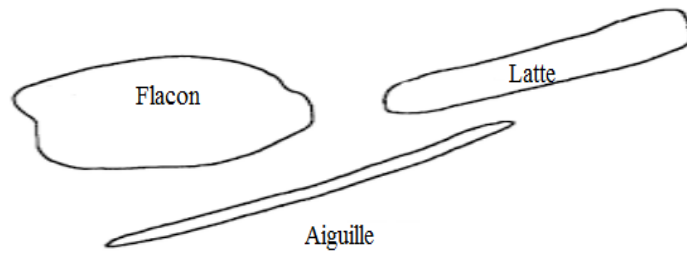


Figure I.7 : Forme principale des minéraux argileux

I.1.6. Domaines d'utilisation des argiles

L'argile rentre dans plusieurs domaines d'applications industriels, artisanaux, pharmaceutique et d'autres [18] :

- Matériaux de construction
- Fabrication de clinker
- Ciment composé

I.1.6.1. Matériaux de construction à base d'argile

L'argile est un matériau de construction largement utilisé depuis des milliers d'années. Il est abondant, facilement disponible et offre de nombreuses propriétés bénéfiques pour la construction. Voici quelques exemples de matériaux de construction à base d'argile [19] :

- **Brique en argile** : sont l'un des matériaux de construction les plus couramment utilisés. Elles sont fabriquées en mélangeant de l'argile avec de l'eau, en façonnant la pâte obtenue en forme de brique, puis en la faisant sécher et cuire. Les briques en argile offrent une grande résistance à la compression et peuvent être utilisées pour les murs, les fondations et les cheminées, entre autres.
- **Tuile en argile** : sont utilisées pour les revêtements de toiture. Elles sont fabriquées en moulant de l'argile en forme de tuile, puis en les faisant sécher et cuire. Les tuiles en argile offrent une bonne isolation thermique, sont durables et résistantes au feu.
- **Enduit en argile** : sont utilisés pour revêtir les murs intérieurs et extérieurs. Ils sont fabriqués en mélangeant de l'argile avec du sable, de la paille et de l'eau, puis on les applique sur la surface du mur. Les enduits en argile sont écologiques, régulent l'humidité et offrent une bonne isolation thermique et acoustique.
- **Terre cuite** : est un matériau de construction fabriqué à partir d'argile qui est façonnée et cuite à des températures élevées. Elle est utilisée pour les revêtements de sol, les carreaux, les briques réfractaires, les canalisations et les éléments décoratifs.
- **Adobe** : est un matériau de construction traditionnel composé d'argile, de sable, de paille et d'eau. Il est utilisé pour la construction de murs porteurs. Les blocs d'adobe sont fabriqués en mélangeant les ingrédients, en les façonnant en forme de blocs et en les laissant sécher au soleil. L'adobe est durable, écologique et offre une bonne isolation thermique.

Ces exemples montrent comment l'argile peut être utilisée dans une variété de matériaux de construction. Cependant, il convient de noter que les propriétés et les utilisations exactes peuvent varier en fonction de la région géographique et des techniques de construction locales.

I.2. Brique de construction

La brique depuis longtemps a été considérée comme l'un des éléments les plus importants dans le domaine de construction. La fabrication des briques a connu plusieurs étapes de développement, d'abord les briques crues, puis les briques cuites, et enfin les briques stabilisées.

Les technologies actuelles permettent la production de nombreux types de briques avec des propriétés supplémentaires pour différentes destinations (briques de verre, briques en nid d'abeille, briques monolithiques, etc.)

Dans cette partie nous montrerons les étapes de développement des techniques de fabrication de diverses briques puis nous aborderons le statut des briques en terre cuite.

I.2.1. Histoire

L'origine de la brique remonterait à 7000ans avant J. C. dans la région du Tigre et de l'Euphrate. Son utilisation se généralise au IIIe 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'humanité 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[20].

Les Figure I.8. et I.9, montrent respectivement, la brique de Pyramide de Comalcalco, Tabasco,Mexique et la brique émaillée qui était déjà connue dans la Mésopotamie antique [21].



Figure I.8 . Comalcalco, Mexique



Figure I.9 . Brique émaillée

Pendant longtemps, la brique (appelée « adobe »)était moulée puis séchée au soleil. ainsi, elle permettait de monter des habitations ou des monuments comme la pyramide d'Amenemhat III, aussi appelée pyramide noire, située à Dahchour en Égypte. Mais elle

restait fragile et ne résistait pas aux intempéries. Les hommes découvrent que la brique laissée au soleil devient plus dure et par conséquent plus résistante. La cuisson de la brique est expérimentée 2500 avant J. C. en Mésopotamie et dans la vallée de l'Indus[20].

La cuisson sert à réaliser des constructions plus importantes. En Assyrie et en Grèce, la cuisson de la brique sert à créer des frises et de réaliser des briques émaillées. Au XV^e siècle, le nord de l'Italie devient maître dans cet art avec la décoration des habitations et des monuments avec des frises, des guirlandes et des festons.

En 1830, Auguste Virebent dépose un brevet d'invention d'un dispositif de presse de brique. C'est le début de l'industrialisation de la brique. Il met au point aussi une invention dénommée « Plinthotomie » qui était une machine agissant comme un emporte-pièce pour découper diverses formes sur la glaise fraîche. Cette technique sert à s'affranchir de sculpteur et d'industrialiser sa fabrication [23].

Avec la révolution industrielle, les usines de briques se sont regroupées pour former de véritables usines. Les fours à charbon ont permis de construire des fours plus grands et les grandes cheminées en briques sont devenues un élément caractéristique de ces briqueteries. L'intérêt porté aujourd'hui à la brique dans certains pays européens (Allemagne, Pays-Bas, Danemark, France) date du début des années 80. Car depuis la crise pétrolière des années 70 ; isoler un habitat est devenu la préoccupation de tous les constructeurs rénovateurs. Toute nouvelle construction doit d'ailleurs respecter les critères d'isolation thermique et acoustique variables selon les régions. Il existe plusieurs types de matériaux isolants et le choix d'un isolant dépend de plusieurs facteurs comme le type de bâtiments, les exigences d'isolation et la disponibilité des matériaux. Le développement de ce matériau va en croissant, lui permettant ainsi d'être performant davantage.

I.2.3. Définition de la brique

Une brique est un élément de construction généralement en forme de parallélépipède rectangle constitué de terre argileuse crue, séchée au soleil "brique crue" ou cuite au four "brique cuite". Elle est employée principalement dans la construction des murs[21].

I.2.4. La brique de terre cuite

Le matériau argileux est utilisé dans la construction depuis des siècles. Elles se sont adaptées à l'évolution de l'architecture et des exigences, et dans la sphère traditionnelle elles sont constituées d'argiles communes qui virent souvent au rouge à la cuisson (sauf pour les argiles calcaires dont la couleur à la cuisson varie du rose au jaune et au blanc [24].

La brique de terre cuite est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée (température de frittage). Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction.

La Figure I.10., montre une Pile de briques modernes, faites d'argile et de sable[21]



Figure I.10 : Briques pleines de terre cuite

I.2.4.1. Fabrication de la brique en terre cuite

Le processus de fabrication des briques reste le même partout, malgré la variété de sa forme et des types d'argile utilisés, Les étapes sont restées inchangées et se résument à l'extraction et préparation de l'argile, façonnage, séchage et cuisson des briques ce sont donc les cinq étapes clés dans le processus de fabrication [25,26].

- **Méthode traditionnelle**

L'extraction de la terre indispensable à la fabrication de brique était faite à partir de puits rudimentaires, des mines ou des carrières. Avant la mécanisation, les hommes arrachaient l'argile avec fers à plats. Une fois l'argile extraite, un travail de broyage permet d'affiner la matière première. Par la suite, l'ajout d'eau en grande quantité permet d'obtenir une pâte homogène à la plasticité voulue .

Le pétrissage, jadis au pied et désormais avec de puissantes machines, permet d'éliminer les derniers cailloux. Cette préparation de l'argile se termine par une phase de pourrissage pendant laquelle la terre glaise se repose[27].

Son façonnage se fait à l'aide de moule en bois dont les bords et le fond sont tapissés de sable pour que l'argile ne colle pas.

Un morceau d'argile est placé dans le moule et homogénéisé. Faites-en sorte que la surface soit exactement la même et coupez l'excédent avec un arc ou un avion humide. Le tout se démoule et passe sur une grille au four. Ce travail manuel forme les briques caractéristiques. Actuellement, ce travail est industrialisé pour obtenir des briques idéalement similaires dans des tailles différentes. Un dispositif de découpe automatique produit des briques à partir de boudins d'argile. Les briques subissent ensuite une série de séchages pour éviter les fissures et les éclats lors de la cuisson [20].

- **Méthode moderne**

La fabrication d'une brique moderne (voir Figure I.11) passe par les grandes étapes suivantes :

- L'argile est le plus souvent extraite à proximité de la briqueterie et elle n'a pas le droit de comporter trop de sable.
- Broyage de la terre pour obtenir la granulométrie désirée
- Humidification et mélange des terres ; ajout des fois une faible quantité de lignosulfite, résidu de l'industrie du papier, dérivé de la lignine contenue dans les arbres ; le lignosulfite favorise l'extrusion(les ajouts sont en fonction de l'argile utilisée est le résultat attendu).
- Extrusion au travers de filières correspondant à une forme donnée de brique
- Coupage
- Séchage dans un séchoir à gaz (durée entre 20h et 50h)
- Cuisson à peu près 900°C, jusqu'à 30 heures
- Les briques peuvent-être rectification (fraisage des bords jointifs pour favoriser le montage)

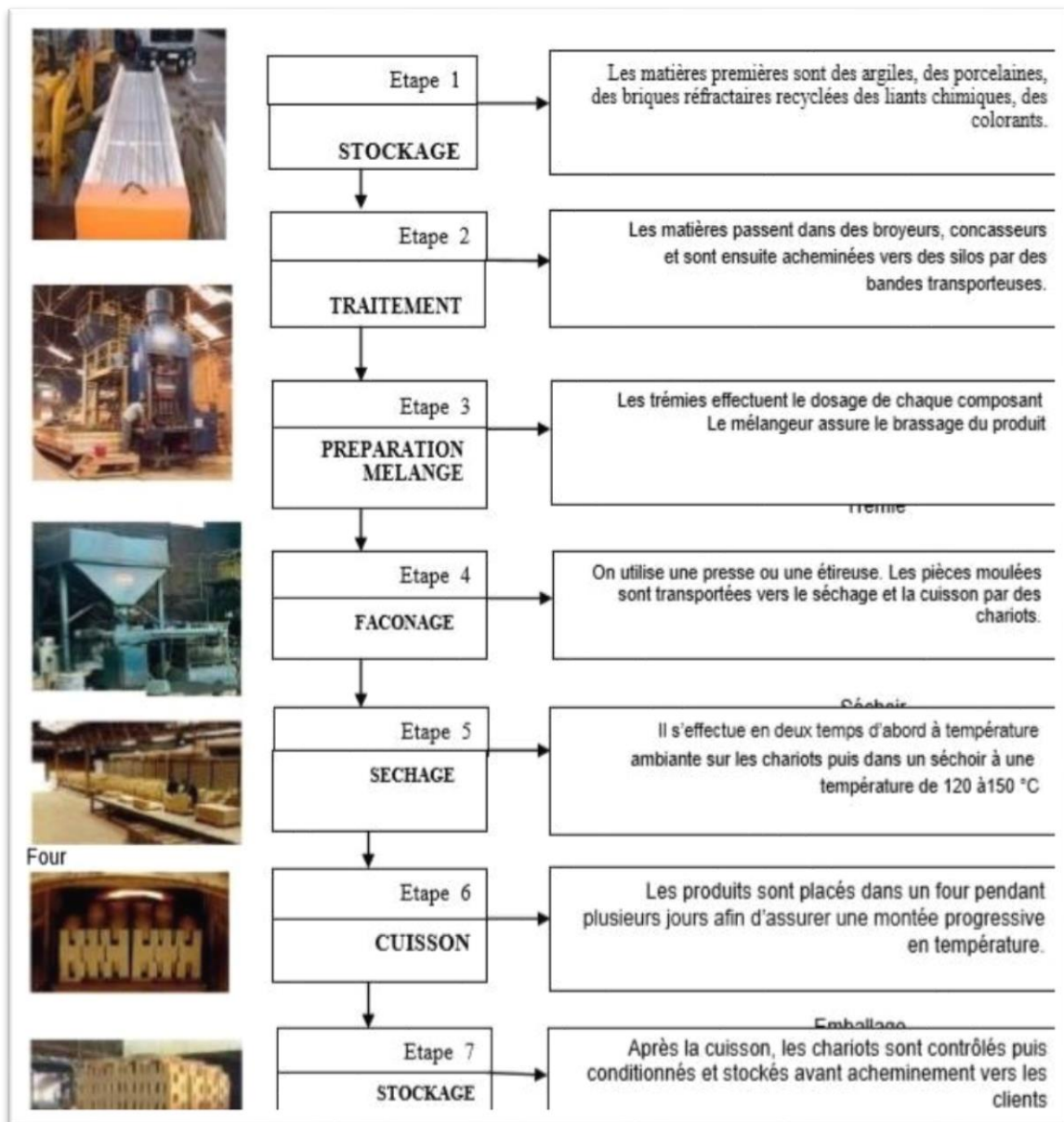


Figure I.11: Diagramme de Production de briques d'argile [20]

I.2.4.2. Préparation de la matière

La préparation se fait en deux opérations principale :

I.2.4.2.1. Le broyage et le malaxage

Cette phase préparatoire très importante s'effectue dans des broyeurs mécaniques à meules verticales qui tournent et qui pressent l'argile au travers d'un fond perforé formant un tamis ou encore dans un broyeur à cylindres horizontaux où l'argile est laminée. Cette opération est effectuée dans le but de rendre l'argile bien homogène et lui donner la plasticité nécessaire pour le moulage. Certaines usines effectuent le stockage des terres en silo ou en fosse (d'où le nom d'endossage pour désigner cette pratique). Les terres, après avoir subies un début de préparation (fragmentation et broyage), sont stockées durant 2 à 4 semaines.

L'intérêt d'une telle opération est de constituer un stock de sécurité en cas

d'impossibilité temporaire d'exploiter la carrière.

I.2.4.2.2. Le dosage et le mélange

Cette opération s'effectue dans des machines à doser. Elles sont constituées de réservoirs ou silos contenant les différents éléments qui alimentent régulièrement à des proportions requises des mélangeurs assurant ainsi la mixture intime et homogène de la pâte.

Le but du mélange est d'obtenir une pâte suffisamment plastique et homogène pour permettre de façonner, de sécher et de cuire les produits dans des conditions optimales. Par ailleurs les argiles demandent d'autant plus d'eau pour le façonnage qu'elles sont plus plastiques : les argiles très plastiques renferment environ 20 à 30% d'eau et les argiles peu plastiques 15 à 20%. Ainsi la pâte est amenée à la plasticité voulue par un apport d'eau -à la limite du collage aux doigts- . La plasticité est la propriété que possède l'argile de pouvoir être, sans rupture, déformée sous un certain effort et de garder la forme acquise quand cet effort est éliminé.

I.2.4.2.3. Séchage:

- Le séchage naturel :

Les produits sont exposés dans des hangars à l'air libre. C'est un processus très long à réaliser et il comporte de sérieux risques. Les hangars protègent bien de la pluie mais pas à de basses températures. Il suffit d'un gel pour voir toute la production perdue.

Le séchage naturel se fait sous 3 km de hangars ouverts. Les briques y restent "un certain temps" au minimum une semaine en été et au maximum 8 mois pour celles qui ont été moulées en hiver et enfermées au cœur d'un hangar et qui seront cuites au printemps suivant. Ce séchage très long à réaliser est très irrégulier. Actuellement il est abandonné.

- Le séchage artificiel :

Il s'effectue dans des installations permettant d'assurer à la fois un chauffage progressif et une ventilation régulière. Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où circule un train de wagonnets transportant des briques crues à sécher, dans le sens inverse de l'air chaud d'une manière régulière et rapide. La durée de l'opération de séchage est très variable.

I.2.4.3 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 dit. 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 » [29].

✓ Type de four

Dans le passé, on utilisait différents types de fours. On peut facilement classer ces différents fours en deux catégories : les fours continus et les fours discontinus.

Pour les fours à fonctionnement discontinu, le mode opératoire comprend le chargement du four, sa mise à feu, son extinction et refroidissement lorsque la cuisson est terminée. Dans un four de type continu, le feu ne s'éteint jamais, et c'est le chargement qui est introduit et extrait du four suivant un cycle régulier et ininterrompu.

Aujourd'hui, on utilise un four continu de type four tunnel. Dans celui-ci, le chargement de briques parcourt un tunnel rectiligne sur des wagonnets et passe successivement par les zones de «préchauffage», de «cuisson» et de «refroidissement».

✓ Etapes de cuisson

Concernent la réaction des matières premières à la cuisson, la chaleur provoque des modifications de masse volumique, de porosité, de dureté, de dimensions. Elle provoque également des déshydratations, des décompositions et des combinaisons qui modifient les propriétés comme suit :

-Jusqu'à 200°C environ, évacuation de l'eau résiduelle de séchage (évacuation de l'eau physique)

-De 200 à 450°C, décomposition de matières organiques ;

-De 450 à 650°C, destruction des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution (évacuation de l'eau chimique)

-De 650 à 750°C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires)

[24].

I.2.4.4. Produits de la brique en terre cuite

I.2.4.4.1. Briques ordinaires

Les briques de terre ordinaires 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 plein ordinaire se compose en deux catégories pleins ou perforées en terre cuite (Figure I.12)[31,32].

Brique pleine : brique ne comprend aucune perforation et dont le format le plus couramment est de dimensions : 250*120*65 mm (Figures I.12 et I.13)

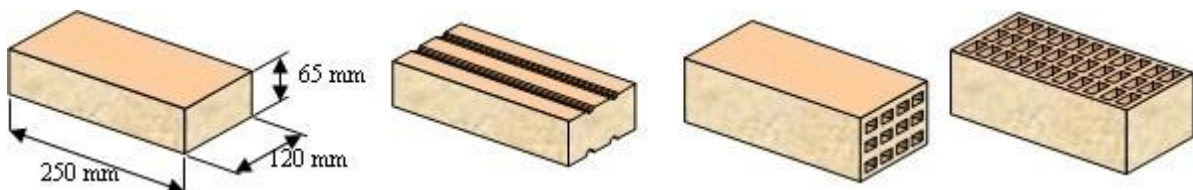


Figure I.12 :Brique pleines et perforées

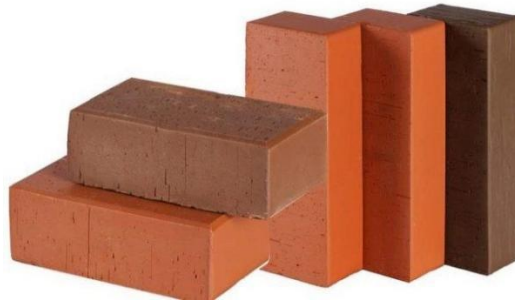
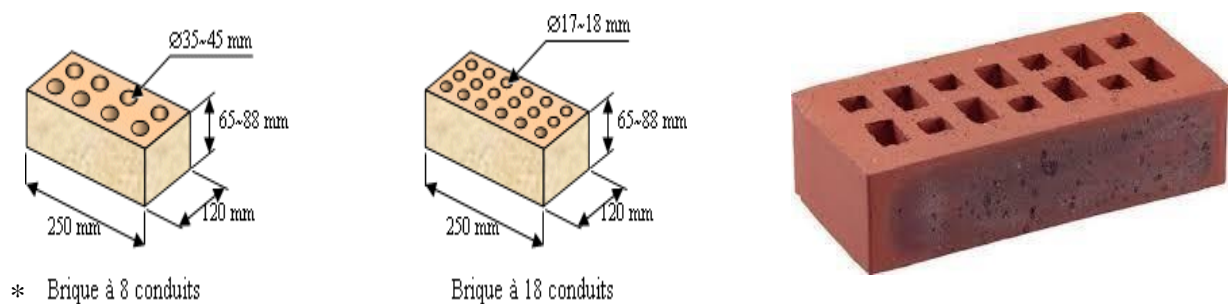


Figure.I.13 : Brique pleine

- Brique perforée

Les briques perforées qui comportent au moins quatre conduits non débouchant sont fabriquées 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.

Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de cuisson. Les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante : ± 6 mm sur la longueur ; ± 4 mm sur la largeur et ± 3 mm sur l'épaisseur [29.34]. (Figures I.12 et I.14)



* Brique à 8 conduits

Brique à 18 conduits

FigureI.14 : Briques perforées.

I.2.4.4.2. Brique creuse de terre cuite à perforations horizontales

Selon la norme NF P 13-301. Les briques creuses à perforations horizontales (Figure I.15) sont des produits comportant des perforations parallèles au plan de pose et dont la section totale dépasse 40% de la section du produit [31, 32,29]. Briques plâtrières d'épaisseur de 3.5 à 7.5 cm. Les briques creuses sont classées :

D'après la forme :

- Type C : à faces de pose continue,
- Type R.J: à rupture de joint (coupure de joint horizontal).

D'après la résistance :

On distingue les briques ordinaires et les briques à résistance garantie

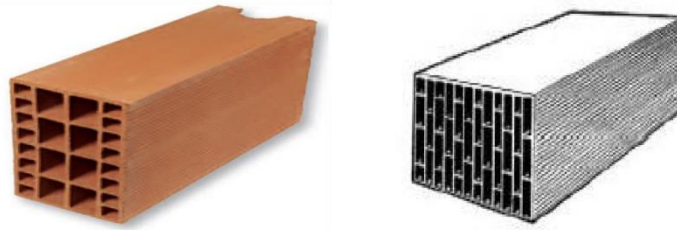


Figure I.15 : Briques creuses de terre cuite à perforations horizontales

I.2.4.4.3. Brique de terre cuite à perforations verticales (blocs perforés)

Les blocs perforés sont des produits permettant de réaliser toute l'épaisseur d'une paroi 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 I. 16). [24,31]

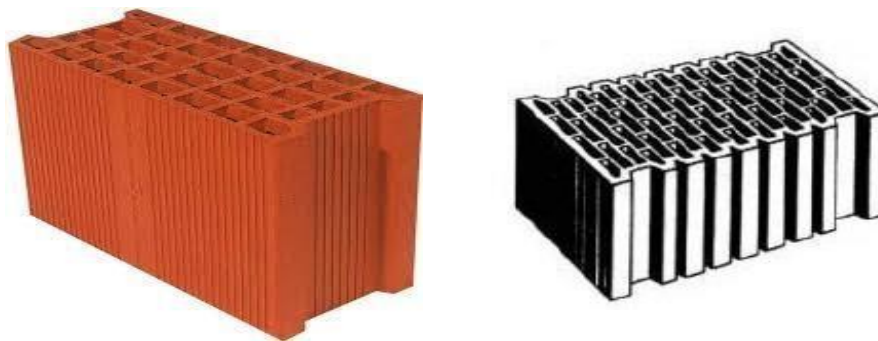


Figure I.16 : Briques creuses de terre cuite à perforation verticale type G

I.2.4.4.4. Brique réfractaire

Autre type, la brique réfractaire (Figure I.17) 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 un 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 [36].



Figure.I.17 :Brique réfractaire

I.2.4.4.5.Brique de verre

La brique de verre (Figure I.18) séduit par son originalité et sa personnalisation. disponible en de multiples dimensions et formes, la brique de verres'impose dans toutes les pièces de la maison sous forme de cloisons.

Décorative et très pratique, la cloison en brique de verre préserve l'intimité d'une pièce, et crée des espaces originaux pouvant se décliner dans de nombreuses coloris et finitions. Satinée, translucide, opaque, ou texturée, il y en a pour tous les goûts et styles d'ambiances.

Au-delà de son design unique, ce type de brique profite d'une excellente isolation acoustique et thermique, d'une bonne résistance au feu, et se trouve être résistante au défoncement. Que ce soit dans une salle de bain, une cuisine, ou une pièce à vivre, une cloison en brique de verre s'harmonise aisément avec l'ambiance instaurée [36].



FigureI.18 : Brique de verre

I.2.4.4.6.Brique de pavage

Ces briques (Figure I.19) 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 [37].



Figure I.19: Brique de pavage

I.2.4.4.7. Propriétés et caractéristiques des briques de terre cuite

Les propriétés et les caractéristiques des briques de terre cuite sont indiquées dans les tableaux I.3. et I.4.

Tableau I.3 : Propriétés des briques pleines et perforées [38]

Poids spécifique (kg/m ³)		Environ 1800
Résistance Mécanique	Compression (MPa)	De 5 à 80
	Traction (MPa)	De 0 à 2
	Dilatation thermique (mm/m.k)	0.005
	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 : Résistance thermique des briques pleines et perforées [39].

Pleins		Perforés	
Épaisseur (cm)	R (m ² .°C/W)	Épaisseur (cm)	R (m ² .°C/W)
5.5	0.05	20	0.52
10	0.09	30	1.00
22	0.20	35	1.21

I.2.5. Principaux ingrédients de l'argile de la brique cuite et leurs fonctions

La silice et l'alumine sont les deux composants les plus importants contenus dans l'argile à briques cuites. Lorsqu'elle est mélangée avec de l'eau dans des proportions appropriées, elle acquiert de la plasticité. Les blocs d'argile plastique peuvent être facilement moulés et séchés. Ils ne doivent pas se fissurer, se rétrécir ou se déformer [40].

Le pourcentage général de ces ingrédients dans l'argile à brique cuite est donné au Tableau I.5

Tableau I.5 : Intervalle de tolérance de chacun des composants de l'argile favorable à la fabrication de la brique de terre cuite [40] [5]

Nature des éléments		Formulation	Tolérances %
Silice		SiO ₂	35 à 80
Alumine		Al ₂ O ₃	8 à 25
Oxyde de fer		Fe ₂ O ₃	2 à 8
Chaux		CaO	0.5 à 15
Magnésie		MgO	0 à 3
Potasse	Oxydes	K ₂ O	0.5 à 4
Soude	alcalins	Na ₂ O	0.1 à 1
Anhydre sulfurique		SO ₃ total	0.02 à 1.8
Perte au feu		P.F	< à 25%

I.2.5.1. Alumine

L'alumine est le composant principal de l'argile. Il agit comme matériau de cimentation dans les briques crues. L'argile à brique est malléable en raison de la présence d'alumine. Cette plasticité assure la mise en forme des briques. Un excès d'alumine dans l'argile peut provoquer le rétrécissement, le gauchissement ou la fissuration des briques lorsqu'elles sont sèches et cuites, comme tout autre matériau cimentaire [39].

I.2.5.2. Silice

L'argile de briques de haute qualité contient 50 à 60 % de silice. Il existe sous forme libre et combinée. Lorsqu'elle est libre, se présente sous forme de sable, celui-ci est encore mélangé mécaniquement à l'argile. Sous forme combinée, elle réagit avec l'alumine pour former des alumino-silicates. La silice empêche les briques de boue de se fissurer, de rétrécir et de se déformer. Plus la proportion de sable (Figure I.20) est élevée, plus la texture de la brique est galbée et uniforme. Cependant, un excès de silice peut détruire la cohésion entre les particules d'argile de brique, rendant la brique cassante et faible. La durabilité des briques dépend en grande partie du bon rapport silice/alumine [39].



Figure.I.20 : Sable

I.2.5.3. Chaux

L'argile à briques cuites doit contenir une petite quantité de chaux finement broyée en poudre (Figure I.21). Elle permet à la silice (d'une proportion requise) de fondre à la température du four à 1650°C. La chaux existante dans l'argile fait référence à la présence de composés de calcium sous forme de carbonate ou d'hydroxyde de calcium. Lorsque l'argile rouge est chauffée à des températures élevées (environ 950 à 1200 C) ces composés de calcium subissent des réactions chimiques qui conduisent à la formation de chaux vive (Oxyde de calcium) ou de chaux éteinte (hydroxyde de calcium). [42]



Figure I.21 : Chaux en poudre

I.2.5.4. Oxyde de fer

Les briques contiennent une petite quantité d'oxyde de fer (Figure I.22). L'oxyde de fer agit comme un flux de chaux, ce qui aide la silice à fondre à basse température. Il donne une couleur rouge aux briques lors de la combustion. Le fer augmente également la durabilité et l'imperméabilité des briques [39].



Figure I.22 : Différentes poudres d'Oxyde de fer

I.2.5.4. Magnésie

Une petite proportion de magnésium diminue le retrait et donne une teinte jaune aux briques. Une quantité excessive de celui-ci provoque la décomposition des briques [39].

I.2.6. Ingrédients nocifs de la brique

I.2.6.1. Chaux

Un excès de chaux dans la fabrication de la brique peut avoir des effets indésirables dans les propriétés et la qualité des briques. Voici quelques conséquences possibles d'un excès de chaux :

-Faible résistance mécanique : la chaux réagit comme un liant, mais si elle est présente en excès, elle peut entraîner une surcuisson, ce qui conduit à une dégradation de la structure de la brique et une réduction de résistance à la compression.

-Porosité excessive : la chaux peut réagir avec les autres composantes de l'argile, formant des gaz qui créent des pores dans la structure de la brique, une porosité excessive peut rendre les briques plus vulnérables à l'absorption d'eau, à la dégradation par le gel et à la pénétration de l'humidité.

-Variation de couleur : la chaux réagit avec les minéraux d'argile qui donnent leurs couleurs à la brique, modifiant ainsi sa teinte. Cela peut entraîner une apparence inégale des briques sur le plan esthétique.

I.2.6.2. Alcalis

Les alcalis sont principalement des sels de sodium (Na) et de potassium (K). Ils agissent comme un flux dans le four et provoquent la fusion, la déformation et la torsion des briques. Les alcalis absorbent l'humidité de l'atmosphère et provoquent l'humidité et l'efflorescence des briques (en raison de la présence de sels hygroscopiques, par exemple, CaCl_2 , MgCl_2 , etc.) [39]

I.2.6.3. Cailloux, pierres et graviers

Leur présence ne permet pas au solde se mélanger complètement, ce qui produit des briques plus faibles. Les briques ne pourront pas être cassées en parties désirées, et leur cas sur e serait très irrégulière.[39]

I.2.6.4. Pyrites de fer (FeS)

La pyrite provoque la cristallisation et la désintégration des briques lorsqu'elles sont brûlées. Il décolore les briques sous forme de laitier noir[39]

I.2.6.5. Matière organique

La matière organique dans la brique rend la brique poreuse, ce qui donne une brique à faible densité et à faible résistance [39].

I.3. Grignon d'olive (déchet agricole)

I.3.1. Définition

Actuellement, les grignons d'olive sont considérés comme des produits de récupération. Ce sont des résidus de trituration d'olives. Ces grignons outourteaux avaient peu de valeur économique. En effet, une certaine quantité sert à alimenter les chaudières ou à chauffer les maisons, mais la majorité des grignons sont rejetés et sont source de pollution [43].

I.3.2. Caractéristiques physiques

Les grignons bruts renferment la coque du noyau, réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive, environ 25% d'eau et une certaine quantité d'huile qui favorise leur altération rapide.

Les grignons épuisés diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus d'extraction.

Les grignons épuisés partiellement dénoyautés sont constitués essentiellement par la pulpe (mésocarpe) et contiennent encore une petite proportion de coques qui ne peuvent être séparées complètement par les procédés de tamisage ou de ventilation utilisés.

La Figure I.23., montre une section transversale de l'olive avec ses différentes parties: épicarpe, mésocarpe (pulpe), endocarpe (paroi du noyau) et amandon

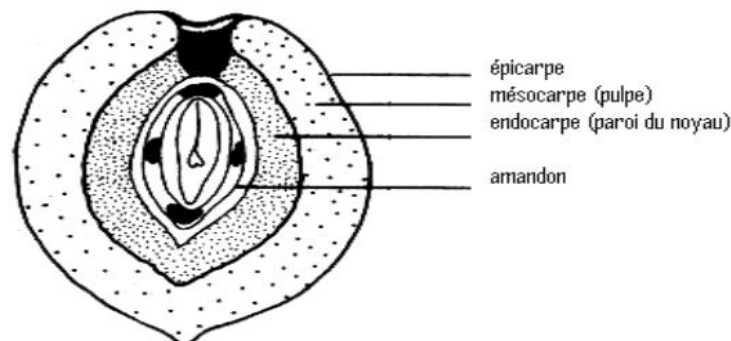


Figure I.23: Section transversale et composition physique du fruit de l'olivier [44]

I.3.3. Caractéristiques chimiques

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux, les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses. L'épuisement par les solvants diminue les teneurs en matières grasses et augmente relativement les autres teneurs. Le dénoyautage partiel par tamisage ou ventilation réduit les teneurs en cellulose brute, (Tableau I.6).

Les pulpes, du fait de la séparation totale du noyau avant pression, ont la valeur la plus faible en cellulose brute.

Tableau I.6: Compositions chimiques des différents types de grignons [43].

Types de grignon	Matières				
	Matières Sèches (%)	Matières minérales (%)	Matières Azotées Totales (%)	Cellulose Brute (%)	Matières Grasses (%)
Grignon brut	75-80	3-5	5-10	35-50	8-15
Grignon gras partiellement dénoyauté	80-95	6-7	9-12	20-30	15-30
Grignon épuisé	85-90	7-10	8-10	35-40	4-6
Grignon épuisé partiellement dénoyauté	85-90	6-8	9-14	15-35	4-6
Pulpe grasse	35-40	5-8	9-13	16-25	26-33

Les valeurs indiquées au Tableau I.6., sont très variables principalement pour les grignons bruts et les grignons gras partiellement dénoyautés et ne peuvent être considérées que comme indicatives.

Il est à noter que ces différents grignons proviennent d'olives d'origines variées et ont subi des traitements différents.

I.3.3.1. Cellulose brute

La cellulose est un polymère naturel qui a un rôle structural de premier plan dans la grande majorité des parois végétales. La molécule de cellulose est constituée d'environ 14 000 unités de glucose [46].

Les molécules de glucose sont associées par une liaison β osidique C1-C4, le constituant élémentaire est la Cellobiose (voir Figure I.24) [46].

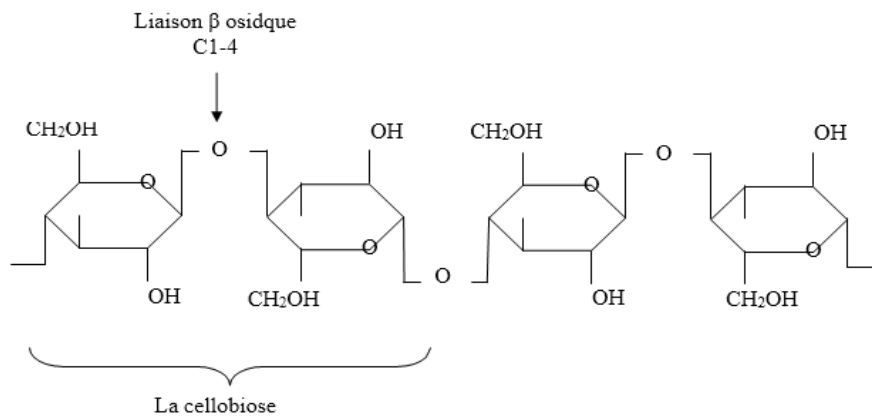


Figure.I.24 : Structure de la cellulose

I.3.3.2. Lignine

La lignine, l'une des matières qui n'appartient pas aux éléments celluloseux de la cellulose brute, est un dérivé aromatique polymérisé qui constitue la majeure partie de la fraction ligneuse des végétaux, provenant de la copolymérisation de trois alcools spécifiques [47].

I.3.3.3. Matières azotées totales

Leurs teneurs varient selon le type de grignon (Tableau I.6) mais restent relativement modestes. L'azote protidique constitue plus de 95% de l'azote total. Sa solubilité est particulièrement faible (1,5% de l'azote total selon Zelter, 3% selon Nefzaoui, 1983) [48]. D'ailleurs une grande partie des protéines (80 à 90%) est liée à la fraction lignocellulosique.

I.3.3.4. Lipides

La matière grasse des grignons est très riche en acides gras en C16 et C18 insaturés qui constituent 96% du total des acides gras. Les grignons sont très vulnérables à l'oxygène atmosphérique responsable en grande partie de l'altération des propriétés organoleptiques [48].

I.3.3.5. Matières minérales (cendres)

Les grignons en plus des matières grasses, azotées, pariétales, comprennent aussi des matières minérales dites cendres brutes qui sont, normalement, faibles (3 à 5 %). Les teneurs élevées qu'on peut rencontrer sont dues à l'absence de lavage et aux contaminations provenant du sol [48].

I.3.4. Présentation du grignon d'olive

En Algérie, les petites huileries artisanales, même les plus modernes, rejettent dans la nature de grandes quantités de grignons après avoir extrait l'huile des olives. Ils sont jetés au hasard sur des berges, polluant ainsi l'environnement.

La filière oléicole produit un grand nombre de sous-produits en plus de l'huile : grignons, margines et produits détaillés (feuilles de rameaux), « en moyenne 100 kg d'olives donnent 35 % de grignons et 100 litres de margine. Ces résidus sont devenus une pollution de plus en plus sévère nécessaire » [49].

Le grignon d'olive possède toutes les caractéristiques propices pour qu'il devienne, en subissant au préalable des traitements chimiques et thermiques, un matériau adsorbant utilisable dans divers domaines en raison de sa structure physique, de sa richesse en constituants carbonés et des propriétés tant polaires qu'apolaires des molécules qui le composent [49].

I.3.5. Perspectives d'utilisation des grignons d'olives

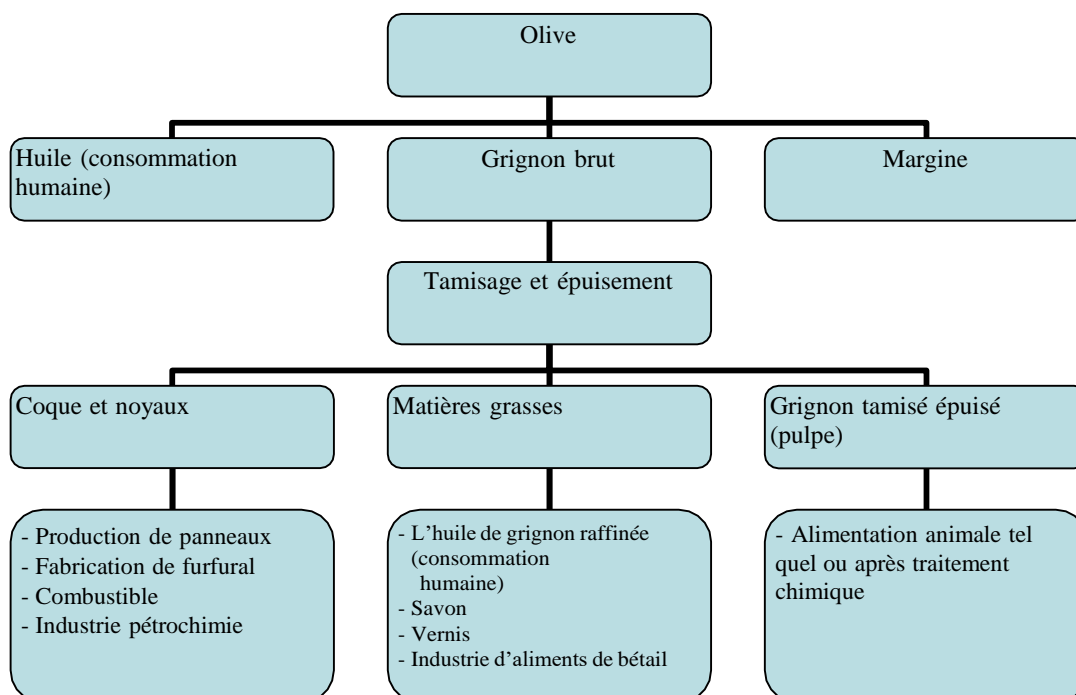
La valorisation des sous-produits de l'olivier constitue bien une source potentielle de revenus complémentaires. Elle permet de résoudre en grande partie les problèmes posés par les effluents qui ont un pouvoir polluant très élevé.

Actuellement, les sous-produits de l'oléiculture sont partiellement ou totalement perdus pour beaucoup de pays, alors que leurs possibilités d'emploi sont nombreuses. Ils constituent une source d'approvisionnement :

- D'huiles supplémentaires : (huiles de grignons) utilisables pour la consommation humaine ou dans l'industrie.
- D'énergie : combustible de coques, de grignons.
- De fertilisants : margines et grignons.
- D'aliments de bétail : feuilles de brindilles, grignons, concentré de margines.
- De produits chimiques : à nombreuses applications industrielles ou agro-alimentaires (furfural, conservant naturel et protéines unicellulaires des margines).

Nous donnons dans le tableau I.7 une vision des globales des champs d'application des sous-produits de l'olivier .

Tableau I.7 Champs d'application des sous-produits de l'olivier



I.4. Noix et coque de noix

La noix (Figure I.25) se distingue des autres fruits à écale et oléagineux par son contenu particulièrement élevé en acides gras polyinsaturés, principalement sous forme d'oméga-3, dont les bienfaits sur la santé cardiovasculaire sont bien démontrés. Lorsqu'on sait que le contenu en lipides de la noix ainsi que les autres principes actifs qu'elle contient apportent un lot de bienfaits sur la santé, on n'hésite plus à l'intégrer régulièrement à notre alimentation.

La noix est particulièrement riche en vitamine E et vitamines du groupe B, ainsi qu'en minéraux et oligo-éléments : potassium, phosphore, magnésium, calcium, fer.



Figure I.25 : Fruit de la noix

I.4.1. Composition de la noix

I.4.1.1. Coque

La noix commune est un fruit à coque oléagineux très énergétique. Par rapport aux autres graines oléagineuses, elle se caractérise par sa richesse en acides gras polyinsaturés, comportant l'apport le plus élevé en oméga-3. La noix est aussi riche en tocophérol et composés phénoliques lui donnant une activité antioxydante puissante.

Épaisse d'environ 1 millimètre, elle se sépare en deux parties égales, de couleur beige à marron selon l'origine. La noix atteint 4 centimètres de longueur. Elle est entourée d'une membrane extérieure (le péricarpe, composé elle-même de l'épicarpe et du mésocarpe) de couleur verte qui se fend à maturité.

La coque protège efficacement le noyau appelé cerneau. De forme ovoïde, se terminant en pointe à une extrémité. Très résistant, il convient d'utiliser des ustensiles adaptés afin de l'ouvrir sans difficulté. On peut observer des nervures gravées dans la coque, ce qui lui confère une apparence unique au monde, on ne retrouve aucune similarité dans l'aspect naturel avec d'autres fruits secs comparables.

I.4.2. Utilisations possibles de la coque de noix

Une liste non exhaustive d'utilisations possibles de la noix est donnée ci-dessous :

- **En drainage** : au fond des pots de fleurs, elles remplacent les cailloux
- **En paillage** : dans ces mêmes pots, cassés en morceaux, elles font de jolis paillages comme montré à la Figure I.26.



Figure.I.26 Paillage de jardin.

- **Peinture et décoration** : la partie charnue autour de la coquille émet un jus qui tache, utilisé en teinturerie : le brou de noix.
- **Menuiserie** : le bois de noyer est un bois de qualité pour la menuiserie et l'ébénisterie (ronce de noyer).
- **Filtrage et séparation de liquides**
 - Travaux de forage, c'est-à-dire dans des liquides/boues de forage et pour le nettoyage de conduites de tuyauterie
 - Matière de remplissage pour les revêtements, en particulier lorsqu'un effet antidérapant durable est souhaité.
 - Matière de remplissage pour les matières plastiques renforcées par des fibres dans les procès dés d'extrusion ou de moulage par injection
 - Céramique : afin de renforcer la porosité et pour la cautérisation
 - Ébavurage de parties plastiques et composites
 - Produits agrochimiques : excipients pour les pesticides et herbicides
 - Engrais : en tant que poudre de base et liant.

La poudre de coquilles de noix pour les applications cosmétiques.]La poudre de coquilles de noix est adaptée pour un usage en tant que matière de remplissage pour les produits ménagers à base végétale, p. ex. les blocs WC, les tablettes pour lave-vaisselle ou d'autres produits sous forme de tablettes. Grâce à ses bonnes propriétés liantes et de dispersives, la poudre de coquilles de noix se combine parfaitement avec les parfums et les colorants. Elle constitue donc un ingrédient polyvalent pour des biens de consommation biodégradables attractifs de tous types.

I.5. Conclusion

Au cours de cette bibliographie, ce chapitre nous a permis de mettre en évidence plusieurs aspects essentiels liés à notre sujet de recherche. Nous avons exposé un bref aperçu sur l'argile (matière première de fabrication de briques de construction). Ceci va nous permettre de connaître au mieux la matière en ayant une idée sur son comportement à travers les différentes étapes de confection de la brique à savoir le mélange, la séchage et la cuisson.

Ensuite nous avons enchaîné à donner une idée sélective sur les ajouts (grignon d'olive et le noyau de la noix) utilisés dans ce modeste travail.

Nous allons donc étudier l'influence des déchets de matières végétales (grignon d'olive + coque de noix) sur les caractéristiques physico-mécanique et thermique des briques

Chapitre II

Caractérisation et analyses des matériaux

Introduction

Ce chapitre est porté sur les analyses des matériaux utilisés dans la fabrication de la brique, à savoir l'argile et les ajouts organiques (les grignons d'olive et la coque des noix). Nous commencerons par une analyse chimique des résidus pour déterminer les proportions des composants structuraux tels que la cellulose, la lignine et l'hémicellulose. Ensuite, nous procéderons à des analyses thermiques des matériaux utilisés.

II.1. Introduction :

La brique est un matériau de construction largement utilisé, mais elle est connue pour sa fragilité et sa difficulté de fabrication. Ses caractéristiques dépendent principalement des composants de l'argile qui est la matière première de la fabrication de la brique. L'objectif de ce travail est d'expertiser des déchets organiques, tels que les grignons d'olive et les coques de noix, dans la fabrication des briques.

Ce chapitre se divise en deux parties : la première partie se concentre sur la caractérisation des matières premières, tandis que la deuxième partie se concentre sur la fabrication du matériau final. Sur ce une caractérisation des matières premières s'avère nécessaire pour identifier et de connaître leurs propriétés physico-chimiques et thermiques.

Différentes analyses ont été effectuées à savoir l'analyse granulométrique par tamisage et sédimentométrie, les limites d'Atterberg, l'analyse chimique et minéralogique (diffraction des rayons X et la fluorescence) ainsi que les analyses thermiques (ATD, ATG). Ces dernières sont essentielles pour comprendre les changements de phase et la réactivité des matériaux lors de la combustion à différentes températures. Elles fournissent des informations précieuses sur la calcination des matériaux, ce qui est crucial pour évaluer leur comportement dans les mélanges, tels que l'argile associée aux résidus.

II.2. Analyses et Caractérisation des matériaux utilisés :**II.2.1. Argile :**

L'argile rouge utilisée dans cette recherche est issue de la région de Bouzegza Keddara wilaya de Boumerdès.

Les argiles couramment utilisées dans la fabrication des briques sont principalement d'origine sédimentaire. Ces divers environnements sédimentaires ont un impact sur la qualité minéralogique et la composition chimique des argiles [41]

Les critères de sélection garantissent la qualité des argiles utilisées dans la fabrication des briques, en assurant leur aptitude à être transformées sans défauts majeurs et à fournir des briques résistantes et durables.

II.2.1.1. Teneur en eau (ω) :

La quantité d'eau présente dans l'échantillon a été mesurée en utilisant la méthode de dessiccation à l'étuve conformément à la norme expérimentale [ASTM D2216]. Cette méthode consiste à éliminer l'eau libre en faisant sécher l'échantillon dans une étuve à une température de 105°C, puis en mesurant la perte de poids résultante.

Le tableau II.1 présente le résultat obtenu, Ce paramètre a permis de caractériser l'état dans lequel se trouve l'argile (quantité d'eau) :

Tableau II.1 Teneur en eau de l'argile à l'état naturel.

	ω (%)
(0%)Argile	22.32

II.2.1.2. Plasticité :

Cette caractéristique met en évidence la grande ductilité des matériaux argileux, ce qui signifie que l'argile a la capacité de se déformer à une échelle macroscopique lorsqu'elle est soumise à des forces externes.

C'est une des mesures conventionnelles communément appelées limites d'atterberg qui expriment les différences de comportement mécanique des sols, différences essentiellement liées aux variations de la teneur en eau. Ces limites ont été mises au point par l'agronome Suédois Atterberg en 1911[5].

II.2.1.2.1. Détermination des limites d'Atterberg (norme NF P 946051) :

En fonction de la teneur en eau, un sol se présente selon des consistances variables pour lesquelles on peut distinguer trois états : liquide, plastique, solide. Les limites d'atterberg sont mesurées avec un appareillage normalisé, sur la fraction de sol qui passe au tamis de 425 μ m. il est défini par :

- La limite de liquidité ω_L qui sépare l'état liquide de l'état plastique.
- La limite de plasticité ω_p qui sépare l'état plastique de l'état solide.



Figure II.1. Appareil de Casagrande.

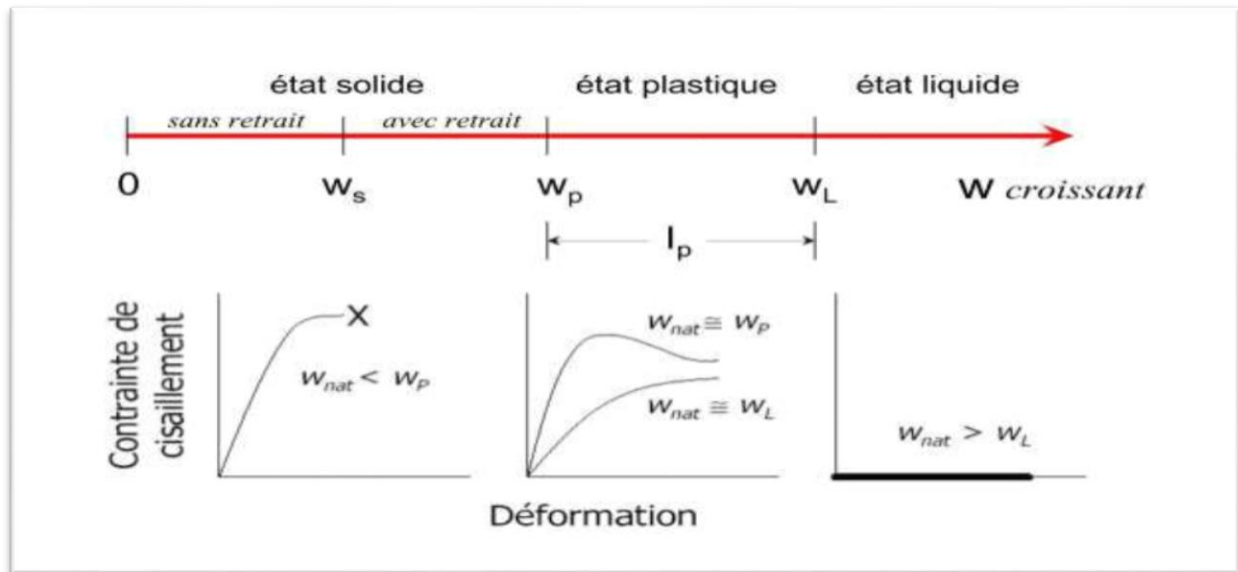


Figure II.2. Représentation des limites d'Atterberg

II.2.1.2.2. La limite de liquidité (ω_L) :

C'est la limite qui sépare l'état plastique de l'état liquide, ω_L est la teneur en matériau qui correspond conventionnellement à une fermeture sur 1cm de la rainure après 25 chocs. Elle est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les couples des valeurs expérimentales (1g N, ω).

$$\omega_L = \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Les valeurs sont exprimées en pourcentage et arrondies au nombres entiers le plus proche. En vue de déterminer les limites d'Atterberg d'échantillons de mélanges (argile + eau), les matériels suivants ont été utilisés :

- ❖ Une étuve
- ❖ Un tamis à maille carré de 425 μm d'ouverture.
- ❖ Une balance
- ❖ Une spatule
- ❖ Appareil de Casagrande
- ❖ Outil à rainure.

La réalisation de cet essai a porté sur les matériaux préalablement passés au tamis de 425 μm afin d'éliminer les éventuels sables grossiers qui gêneraient la mesure

La détermination de la limite de liquidité ω_L consiste à :

- On pèse 200g du matériau (argile) tamisé, et on le mouillé avec de l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène et presque fluide.
- On prend une coupelle propre et séché, à l'aide d'une spatule on étale environ 70 g de pate d'une façon homogène en plusieurs couches pour éviter d'emprisonner des bulles

d'air. Elle recouvre le fond de la coupelle, sauf sur une partie d'environ 3cm. L'épaisseur au centre est de 15 à 20 mm

- On partage la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer, en le tenant perpendiculairement à la surface de la coupelle, puis on tourne la manivelle afin de provoquer des chocs
- On note le nombre de chocs nécessaire pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1 cm.

L'essai est représenté sur la figure II.3

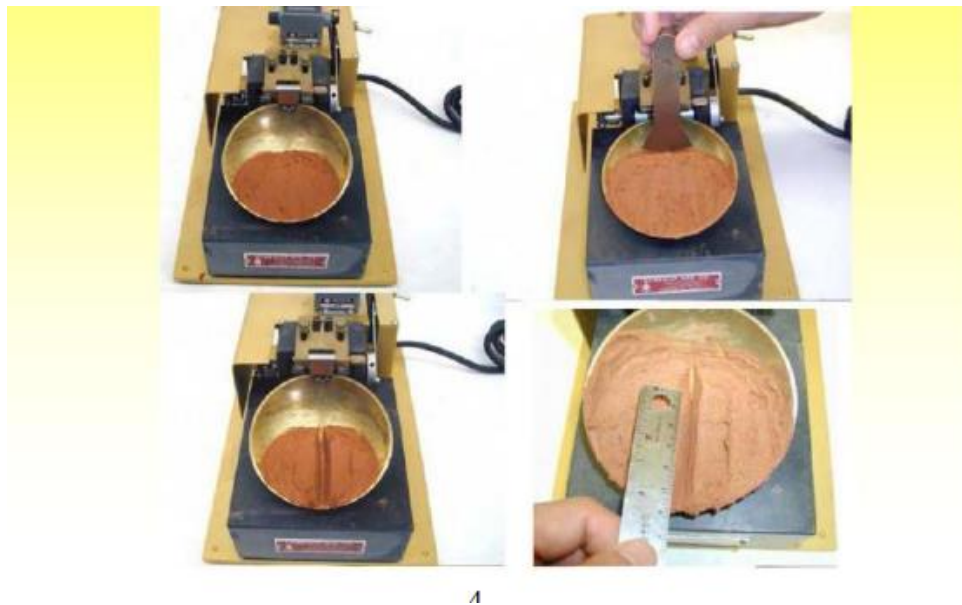


Figure II.3. Essai de détermination de la limite de liquidité (ω_L)

- Le processus est répété à plusieurs reprises en utilisant des teneurs en eau différentes afin de garantir que le nombre de chocs lors de chaque essai se situe entre 15 et 35 :
Si $n < 15$ le processus est recommencé avec un matériau plus sec
Si $n > 35$ le processus est renouvelé avec un matériau plus humide

L'essai n'est poursuivi que lorsque n est compris entre 15 et 35.

- Pour chaque essai, on détermine la teneur en eau w par la manière suivante :
 - Prélever un peu de mortier de chaque opération.
 - Peser immédiatement soit P_h (poids de l'échantillon humide + tare).
 - Mettre à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'un poids stable (24 heures).
 - Peser l'échantillon sec à la sortie de l'étuve P_s (poids de l'échantillon sec + tare).
 - Calculer la teneur en eau w par la relation :

$$\omega (\%) = \left[\left(\frac{P_h - P_s}{P_s - P_{tare}} \right) * 100 \right].$$

Avec :

ω : La teneur en eau.

P_h : Poids humide.

P_s : Poids sec.

P_{tare} : Poids de la tare

La détermination de la limite de liquidité se fait à partir de la représentation graphique de la teneur en eau en fonction du logarithme du nombre de chocs.

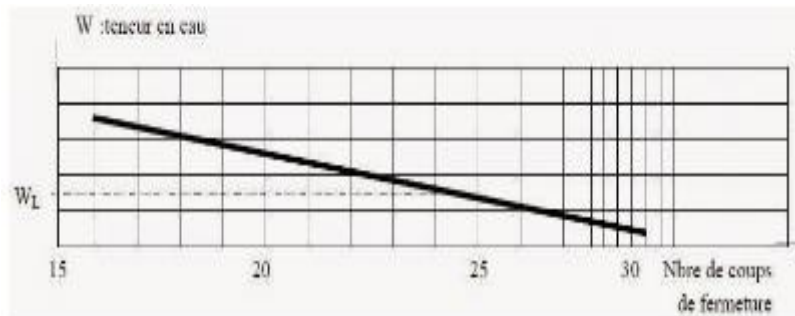


Figure II.4. Détermination de la limite de liquidité ω_L .

Pour notre cas la limite de liquidité est présenté sur la figure II.5:

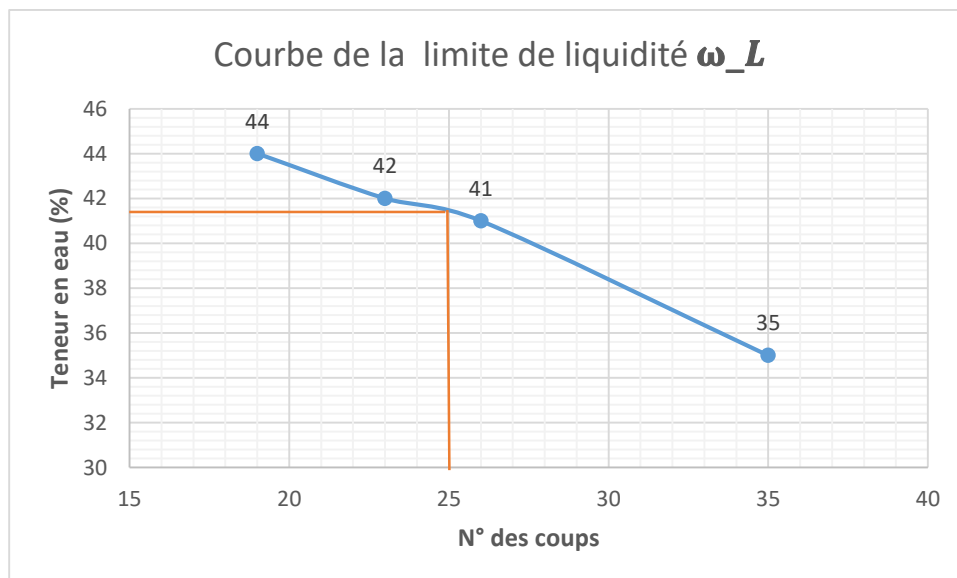


Figure II.5. Courbe de la limite de liquidité ω_L

A partir de la courbe on a trouvé : $\omega_L = 41.56\%$

II.2.1.2.3. La limite de plasticité (ω_p) :

La limite de plasticité ω_p est la teneur en eau conventionnelle de sol qui se fissure au moment où son diamètre atteint 3 mm. En considère que cette limite est atteinte si la rupture se fait pendant le soulèvement.

ω_p est la moyenne des teneurs en eau à partir de deux essais, la valeur est exprimée en pourcentage et l'intervalle d'arrondissement est de 1 à 2 %.

Les matériels utilisés pour déterminer la limite de plasticité sont :

- ❖ Une balance
- ❖ Etuve
- ❖ Plaque en verre

Et pour déterminer ce dernier, il faut laisser sécher l'échantillon ensuite faire une boulette de pâte à la grosseur d'une noisette et faire un cylindre en roulant sur la plaque en verre propre lisse et sèche.

Par définition la limite de plasticité est la teneur en eau de cylindre qui se brise lorsque son diamètre atteint 3mm. Le cylindre terminé doit avoir de 10 à 15 cm de longueur.

- S'il se brise avant d'atteindre les 3mm de diamètre, la teneur en eau est trop faible.
- S'il ne se brise pas en le soulevant en son milieu de 15 à 20 mm, diminuer la teneur en eau.



Figure II.6. Essai de détermination de la limite plasticité (ω_p)

Tableau II.2: Calcul de la limite de plasticité

N° Tare	44	45	60	72
Poids humide+ poids de la tare (g)	8.5	8.7	8.5	8.7
Poids sec + poids de la tare (g)	8.3	8.4	8.3	8.4
Poids de la tare T (g)	7.4	7.4	7.4	7.2
Limite de plasticité W_p %	22%	30%	22%	25%

On aura : $W_p=23.50\%$

II.2.1.2.4. Indice de plasticité (I_p) et Indice de consistance (I_c) :

C'est l'étendue des teneurs en eau pour lesquelles le sol garde une consistance plastique, c'est-à-dire la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité. (I_p) est défini par la relation suivante :

$$I_p = \omega_L - \omega_p$$

Le tableau II.3 présente l'estimation de la plasticité d'un sol selon les valeurs de l'indice de plasticité :

Tableau. II. 3. Estimation de la plasticité d'un sol

I_p	Degré de plasticité du sol
0 à 5	non plastique
5 à 15	peu plastique
15 à 40	plastique
>40	très plastique

La comparaison de la teneur en eau naturelle ω d'un sol et les limites d'Atterberg permet de se faire une idée de l'état d'un matériau qu'on peut caractériser par son indice de consistance I_c . cet indice est calculé par la relation suivante.

$$I_c = \frac{\omega_L - \omega}{\omega_L - \omega_p} = \frac{\omega_L - \omega}{I_p}$$

Le tableau. II. 4, présente l'état d'un sol en fonction de sa consistance et des limites de plasticité et liquidité.

Tableau. II. 4. Etat du sol en fonction de la consistance

I_c	Etat du sol
$I_c > 1$ $\omega < \omega_p$	Solide (très consistant) Ou semi-solide
$0 < I_c < 1$ $\omega_p < \omega < \omega_L$	Plastique
$I_c < 0$ $\omega > \omega_L$	Liquide

• **Résultats et discussion :**

Le tableau II.5 présente les limites d’atterberg ainsi, que l’indice de plasticité, et l’indice de consistance pour l’échantillon testés. L’indice de plasticité (I_p) est la différence entre la limite de liquidité (ω_L) et la limite de plasticité (ω_p), présentant l’étendue de la plage de plasticité et définissant l’argilosité des sols. L’indice de consistance (I_c) qui est une indication sur l’état de consistance d’un sol et le degré d’adhérence entre les particules.

Tableau. II.5. la limite d’Atterberg de l’argile utilisée

	ω (%)	ω_p (%)	ω_L (%)	I_p	I_c
Argile (0%)	22.32	23.50	41.56	18.06	1.06

Les résultats montrent que l’échantillon est classé parmi les sols très consistant étant donné que l’indice de consistance est supérieur à 1 (Tableau. II.5)

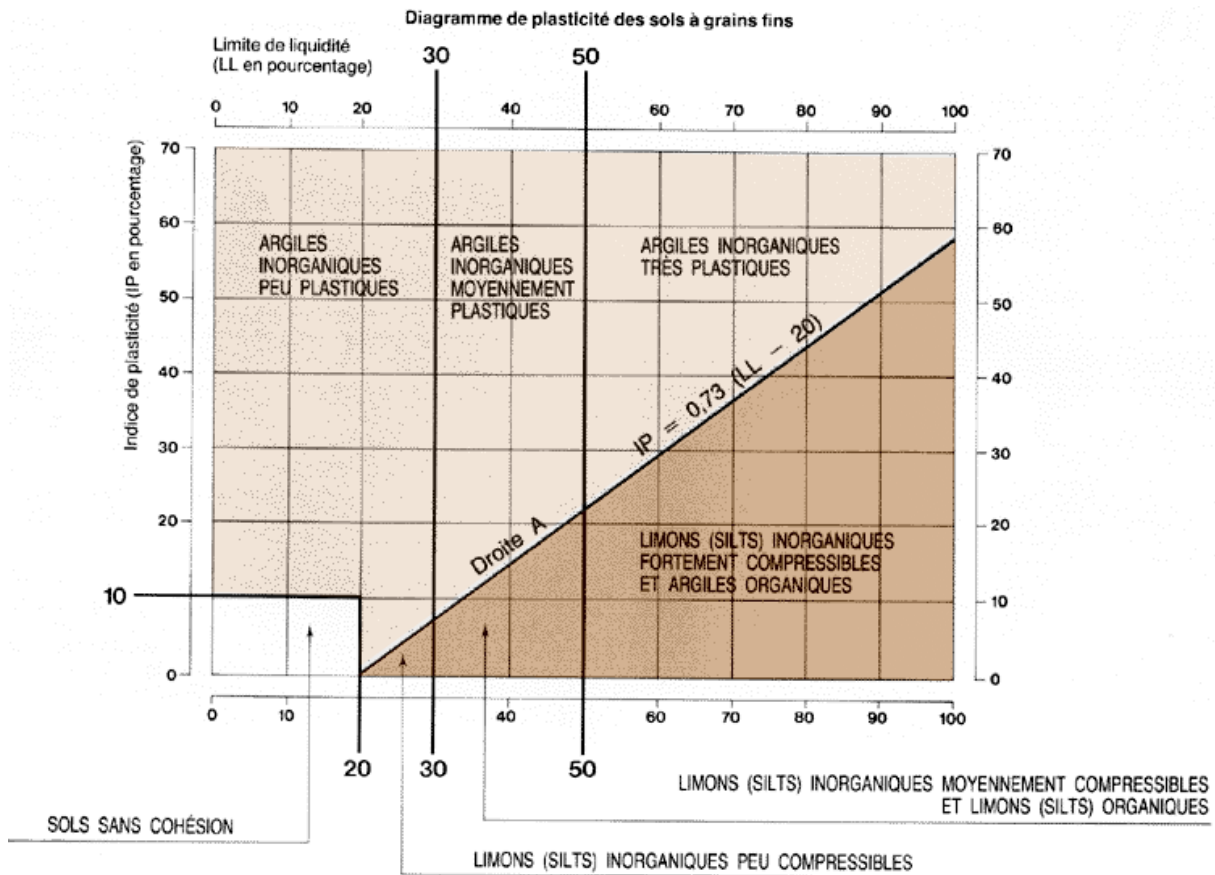


Figure. II.7. Diagramme de plasticité de sol à grains fins. [41]

Par ailleurs, la limite de plasticité obtenue donne une valeur approximative sur la quantité d'eau nécessaire lors de façonnage des briques, sans tenir compte de l'ajout de la coque du GO et CN. Ces essais permettent d'anticiper pour économiser la quantité d'eau nécessaire dans la production des briques.

L'échantillon analysée correspond à des matériaux à grains fins, d'après l'indice de consistance et de plasticité enregistrés, on constate que ces matériaux dont $\omega_L < 50\%$ sont des argiles de consistance moyennement plastique (figure II.7).

Pour un sol composé de gros grains ou un sol à grains fins avec une faible teneur en argile, une légère augmentation de l'humidité au-delà de la limite plastique entraîne la destruction des forces d'attraction responsables de la résistance au cisaillement. Cela se traduit par une faible différence entre la limite de plasticité et la limite de liquidité, et donc par un faible indice de plasticité.

En revanche, un sol contenant une grande quantité d'argile nécessite une quantité significative d'eau pour rompre les forces d'attraction. Dans ce cas, l'indice de plasticité est élevé. Ainsi, l'indice de plasticité offre une mesure indirecte des quantités et des affinités d'humidité de l'argile présente dans le sol.

Les sols sableux et limoneux ont généralement des valeurs faibles de l'indice de plasticité, tandis que la plupart des argiles présentent des valeurs plus élevées. Les sols ayant

des valeurs élevées d'indice de plasticité sont considérés comme très plastiques, ce qui les rend souvent très compressibles et cohérents. Un sol plastique est considéré comme cohérent

Il est important de souligner que la plasticité d'un matériau naturel est une caractéristique des fines particules, notamment des argiles, en relation avec la présence des couches d'eau adsorbées. Ainsi, les limites d'Atterberg, en particulier l'indice de plasticité, varient non seulement en fonction de la proportion d'argile, mais aussi en fonction de la nature des minéraux argileux et des cations adsorbés [41].

La réalisation de cette partie du travail a été la plus délicate et la plus difficile. Le paramètre essentiel dans ce processus était la plasticité, afin de déterminer la teneur en eau appropriée pour le façonnage. Si cette teneur en eau s'avérait insuffisante, l'échec serait inévitable pour tous les échantillons. Un manque d'eau lors du façonnage rendrait les échantillons difficiles à manipuler et à façonner (manque de plasticité), ce qui entraînerait l'apparition précoce de fissures lors du séchage. D'autre part, un excès d'eau lors du façonnage entraînerait des retraits et des pertes supplémentaires lors du séchage, ce qui réduirait la résistance mécanique.

II.2.1.3. Analyses chimique et minéralogique

II.2.1.3.1. Analyse chimique

La composition chimique de l'échantillon est déterminée par la technique de la spectrométrie de fluorescences X à dispersion. La composition chimique moyenne de l'assise utile argileuse est représenté sur le tableau II.6

Tableau II.6. Composition chimique de l'argile utilisée

	Bouzegza Keddara
<i>SiO₂</i>	54.29
<i>AlO₃</i>	20.98
<i>Fe₂O₃</i>	10.30
<i>CaO</i>	1.31
<i>MgO</i>	2.58
<i>SO₃</i>	0.14
<i>K₂O</i>	3.37
<i>Na₂O</i>	0.77
<i>PAF</i>	6.83

L'échantillon contient une grande quantité de silice (SiO_2), principalement provenant des silicates d'alumine et du quartz. Il présente également une concentration élevée d'alumine (Al_2O_3), généralement liée aux silicates argileux, ce qui contribue à sa bonne plasticité. L'analyse chimique de l'échantillon a révélé la présence de traces d'oxydes tels que Ca, Mg, Na, et le (SO) qui est dans les limites des normes. Ainsi une forte teneur en oxydes colorants (Fe_2O_3 supérieure à 3%).

La perte au feu, qui mesure la perte de poids de l'échantillon sec, est relativement faible (6,83%). Cela peut être attribué à la composition minérale de l'argile, notamment la silice, l'alumine et l'eau, qui sont des minéraux stables à haute température, réduisant ainsi la perte de matière lors de la cuisson des briques.

Cela peut également s'expliquer par la faible teneur en chaux (1.31%) dans cet échantillon, ce qui est recommandé pour la construction de briques pour plusieurs raisons :

- ✓ Permet d'obtenir meilleure résistance mécanique des briques.
- ✓ Stabilités dimensionnelles des briques.
- ✓ Le coût de production des briques peut être réduit, ce qui peut être avantageux sur le plan économique.
- ✓ La durabilité.

II.2.1.3.2. Analyses minéralogiques (DRX)

La diffraction des rayons X est utilisée pour déterminer la composition minéralogique d'un assemblage argileux ou d'autres substances finement broyées. Elle produit un diffractogramme qui représente un ensemble de raies, reflétant les réflexions des rayons X sur les plans d'organisation des éléments Al, Si, O, OH présents dans le réseau cristallin. L'état cristallin correspond à une distribution tridimensionnelle dans l'espace d'un motif atomique. Ce motif crée des plans parallèles et équidistants appelés plans réticulaires (h, k, l), qui sont séparés les uns des autres par une distance « d » dépendant de la nature du minéral examiné.

Certaines raies marquent la réflexion des rayons X à la surface de chaque feuillet ; elles mesurent la distance réticulaire « d » entre deux surfaces.

Principe de la méthode :

L'analyse minéralogique par diffraction aux rayons X permet d'identifier la composition minéralogique d'une matière. Elle consiste à appliquer un rayonnement sur un échantillon. Le rayonnement pénètre le cristal et il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émission des radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phase vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

- **Préparation de l'échantillon** : L'échantillon solide est généralement réduit en poudre fine et uniforme afin de permettre une interaction efficace avec les rayons X. Il est important de bien préparer l'échantillon en évitant toute contamination ou altération de sa composition.
- **Diffraction des rayons X** : L'échantillon est placé dans un diffractomètre, qui envoie un faisceau de rayons X sur l'échantillon. Les atomes du matériau cristallin dispersent les rayons X selon des angles caractéristiques, en fonction de la distance interplanétaire et de la structure cristalline du matériau.



Figure. II.8. Appareil DRX (PANalytical EMPYREAN)

- **Collecte des données** : Le diffractomètre enregistre les motifs de diffraction résultants sous forme de graphique, appelé un diffractogramme. Ce dernier représente l'intensité du rayonnement diffracté en fonction de l'angle de diffraction.
- **Analyse des données** : Les diffractogrammes obtenus sont analysés pour identifier les pics caractéristiques correspondant aux plans cristallins et aux distances interatomiques spécifiques. Ces pics sont comparés à des bases de données de référence, telles que la base de données du Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS), pour identifier les minéraux présents dans l'échantillon.
- **Interprétation des résultats** : En utilisant les informations sur les pics de diffraction et les données de référence, l'analyste peut déterminer la composition minéralogique de l'échantillon, ainsi que d'autres paramètres tels que la taille des cristaux, la présence d'amorphousité ou de phases non cristallines.

La condition pour que les radiations soient en Phase s'exprime par la loi de Bragg :

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

Où

n : nombre de diffractions

λ : longueur d'ondes des rayons X

d : épaisseur de la couche (espace basal en Å)

θ : moitié de la déviation, angle de diffraction

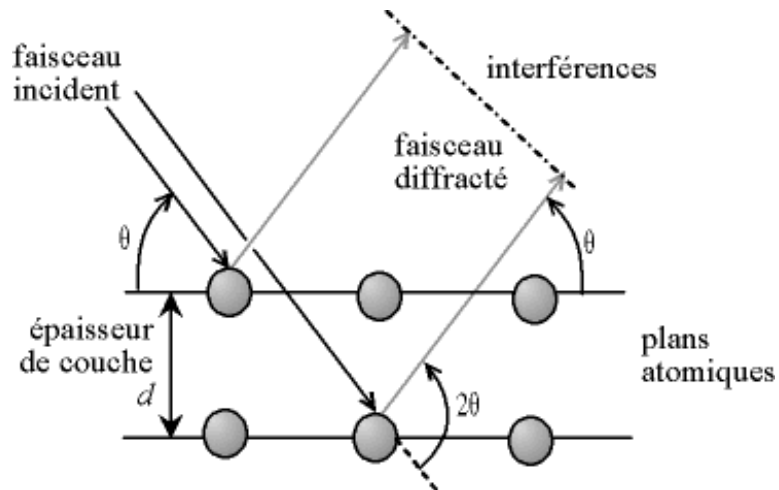


Figure. II.9. Loi de Bragg donnant les directions où les interférences sont constructives

✚ Résultats et interprétation

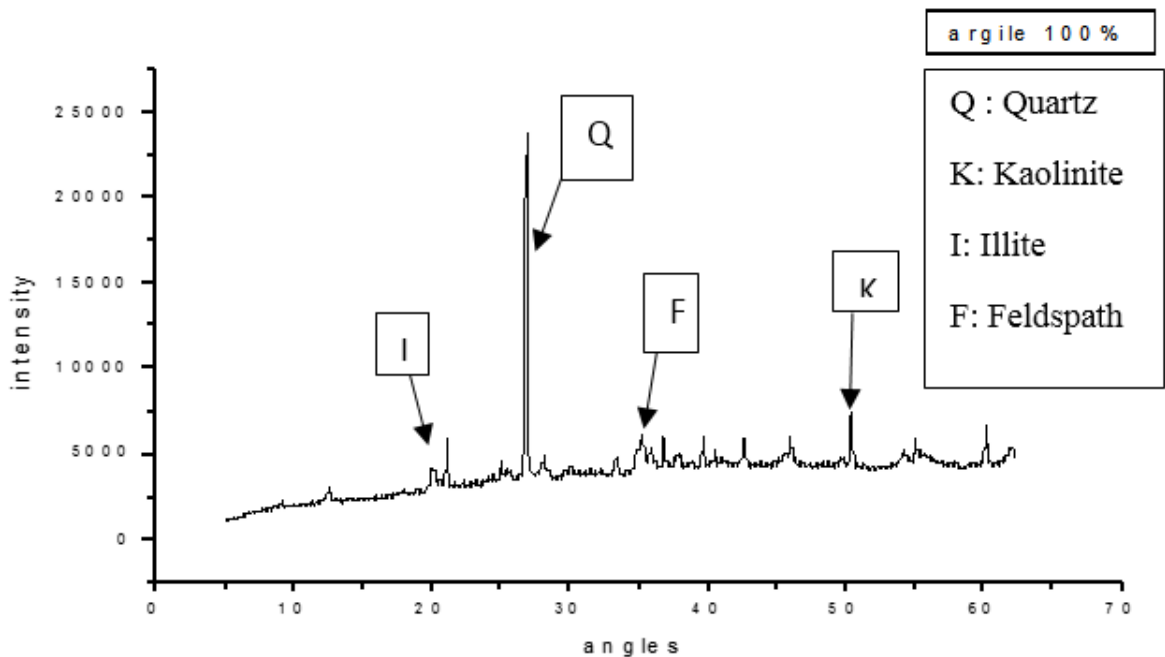


Figure. II.10. Diffractomètre de l'argile

Tableau II.7 Composition minéralogique de l'argile rouge

Quartz	Kaolinite	Illite	Feldspath
22.14%	19.3%	18%	5.2%

Avec des traces de minéraux ferrugineux et d'albite, muscovite et palygorskite...

L'analyse par diffraction des rayons X nous a permis d'identifier les phases minérales présentes dans l'argile utilisée, nous remarquons la présence des éléments suivants :

Quartz : SiO_2 , la kaolinite, illite, et de feldspath, des traces de albite, muscovite et palygorskite

L'argile de Bouzegza Keddara est caractérisée par une teneur importante en silice (54.29%) et forte teneur en oxyde colorante Fe_2O_3 supérieur a 8 %

II.2.1.4. Analyses granulométriques (EN 933-01)

II.2.1.4.1. Par tamisage :

L'analyse granulométrique par tamisage repose sur la séparation des différentes fractions granulaires d'un échantillon en utilisant une série de tamis de mailles différentes. L'objectif est de déterminer la répartition des tailles des particules dans un matériau solide.

✓ Mode opératoire

Voici les étapes principales de l'analyse granulométrique par tamisage :

1. **Préparation de l'échantillon** : L'échantillon solide est d'abord préparé en éliminant les impuretés, les grosses particules agglomérées et en assurant une dispersion homogène.
2. **Sélection des tamis** : Une série de tamis de différentes mailles est sélectionnée en fonction de la plage de tailles de particules que l'on souhaite analyser. Les tamis sont généralement en acier inoxydable et peuvent être de forme circulaire ou carrée.
3. **Tamisage** : L'échantillon est placé sur le tamis supérieur de la série et les tamis sont empilés du plus grossier au plus fin. Ensuite, l'ensemble des tamis est soumis à une agitation mécanique ou à un léger mouvement de secousse pour faciliter le passage des particules à travers les mailles.
4. **Pesée des fractions** : Après le tamisage, les particules retenues sur chaque tamis sont soigneusement collectées et pesées individuellement. Ces poids permettent de déterminer la masse de particules pour chaque fraction granulométrique.
5. **Analyse des résultats** : Les résultats de l'analyse granulométrique sont généralement présentés sous forme de courbe granulométrique, qui représente la distribution des tailles de particules en fonction de la masse ou du pourcentage cumulé. Ces données permettent de caractériser la granulométrie du matériau, notamment en déterminant la taille maximale, la taille médiane et la répartition des tailles de particules

II.2.1.4.2. Par sédimentation (EN 14899)

L'analyse granulométrique par sédimentation est une méthode utilisée en géologie et en sciences de l'environnement pour déterminer la répartition des tailles de particules dans un échantillon de sédiments ou de sols. Cette méthode repose sur le principe que les particules se déposent à des vitesses différentes en fonction de leur taille et de leur densité dans un milieu liquide.

✓ Matériels nécessaires

- ❖ Récipient
- ❖ Un bac

- ❖ Une balance
- ❖ Etuve
- ❖ Eprouvette
- ❖ Agitateur mécanique et manuel
- ❖ Chronomètre
- ❖ Densimètre
- ❖ Thermomètre

✓ **Préparation de la prise d'essai :**

- Recueillir le tamisât à 80 µm préparé avec son eau de lavage dans un bac
- Mettre à décanter
- Siphonner l'eau du bac une fois redevenu claire sans entrainer d'éléments fins et mettre à sécher dans une étuve
- Prélever une prise d'essai de 80 ± 10 g sur le tamisât séché et désagrégé avec le pilon dans le mélange et homogénéiser
- Introduire la prise d'essai dans le récipient utilisé
- Ajouter 500 cm³ du mélange : 440 cm³ eau distillée ou déminéralisée + 60cm³ défloculant [solution à 5% d'héxaméta phosphate de sodium ($\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)] et laisser imbiber pendant au moins 15 heures à la température ambiante.
- Disperse la prise d'essai dans la solution d'eau et de défloculant au moyen de l'agitateur mécanique pendant 3 min à 10000 tr/min au moins.

✓ **Mode opératoire**

- Verse la suspension dispersée dans une éprouvette d'essai immédiatement après la fin de l'agitation mécanique
- Rincer le récipient ainsi que l'arbre et les palettes de l'agitateur avec de l'eau distillé ou déminéralisée
- Recueillir le liquide de rinçage dans l'éprouvette afin d'éviter de perdre une partie de l'échantillon de sol lors du transfère
- Compléter par de l'eau distillé à la température ambiante jusqu'au 2000cm³

- Agiter vigoureusement verticalement la suspension à l'aide d'un agitateur manuel pour obtenir une concentration uniforme sur toute la hauteur de l'éprouvette puis retiré l'agitateur et déclencher au même moment le chronomètre
- Plonger le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après le déclenchement du chronomètre
- Faire les lectures depuis le début de l'essai aux temps suivants en minutes : 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 20 – 40 – 80 – 240 – 1440 min
- Noter à chaque lecture au sommet du ménisque la densité de la solution à 0,0001 près et la température de l'eau se trouvant dans l'éprouvette témoin à 0,1 C
- Procéder aux trois premier lectures sans retirer le densimètre de la solution

- A partir de la 3^{ème} lecture retirer le densimètre de la solution après chaque mesure, le nettoyer puis plonger dans l'éprouvette d'eau distillée
- A partir de la 4^{ème} lecture ($t = 5\text{min}$) plonger le densimètre avec précaution dans la solution au minimum 30s avant la mesure.



Figure. II.11. Essai de la sédimentation sur l'argile utilisée

Résultats et interprétation

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage et sédimentométrie sont présentés sur la figure. II.12

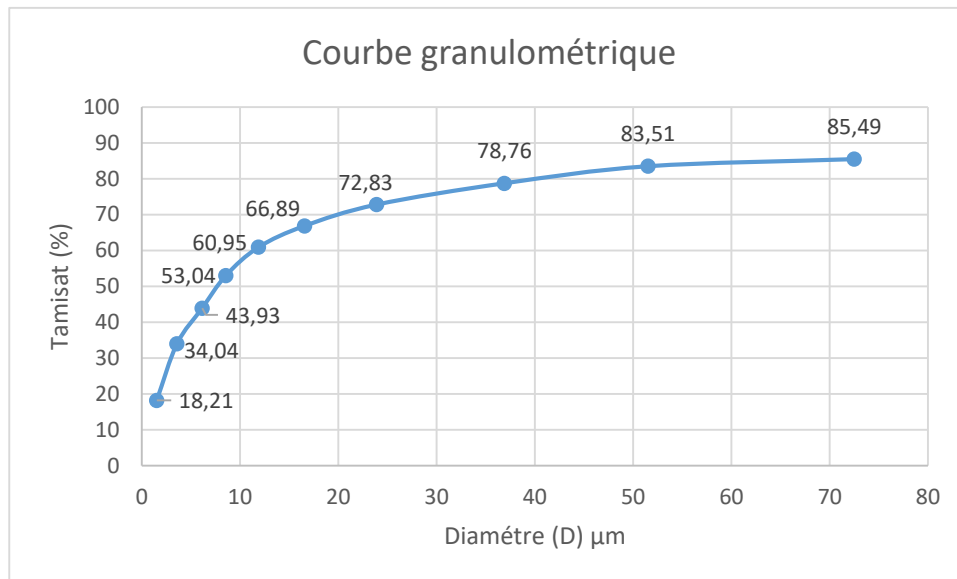


Figure. II.12. Courbe granulométrique de l'échantillon utilisée.

La courbe de la figure II.12., montre que l'argile utilisée contient principalement une fraction argileuse de 18.21% ($<2\mu\text{m}$), des particules poussiéreuses de 51.71% ($2\mu\text{m}$ à $20\mu\text{m}$) et 30% de particules dégraissantes ou sableuses ($>20\mu\text{m}$).

II.2.2. La coque du grignon d'olive

Les grignons bruts renferment la coque du noyau réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée de l'olive avec des teneurs relativement élevée en eau et en huile. Ces teneurs dépendent largement de la méthode d'extraction et favorisent l'altération rapide des grignons lorsqu'ils sont laissés à l'air libre.

Les grignons d'olive utilisés proviennent d'une huilerie moderne située dans la commune de Tazmalt (Bejaïa). Ils sont séchés à l'air libre pendant quelques jours pour faciliter la séparation de la coque. Une partie de celui-ci est tamisée à l'aide d'un tamis à maille de 1 mm pour séparer les débris de la coque du mésocarpe.

Le grignon d'olive a été choisi en raison de sa disponibilité dans notre pays. Cette substance présente un pouvoir calorifique significatif, son incorporation dans les briques de terre cuite a pour objectif d'obtenir un matériau plus léger et meilleur isolant thermique que la brique traditionnelle (brique sans ajout).

Nous avons choisi de prendre uniquement la coque du grignon d'olive car la pulpe dégage de la fumée lors de la cuisson qui peut nuire aux fours. (Les teneurs en azote, en soufre et en chlore ne sont pas négligeables dans les grignons bruts et pourront conduire à la formation d'acides lors de la combustion et rouiller ainsi le four) [41]. Les teneurs en azotes et soufre sont très faibles et permettent une combustion sans formation d'oxyde d'azote, ni d'acide sulfurique.

Les procédés de trituration modifient les proportions relatives des différents composants des grignons (épicarpe, mésocarpe, endocarpe et amandon) (figure II.13) qui ont des compositions chimiques différentes. Il est clair que la plus riche en l'huile est le mésocarpe (ou

pulpe), et celle plus riche en cellulose brute et en lignine est l'endocarpe (coque ou noyau). (Tableaux II.8 et II.9)

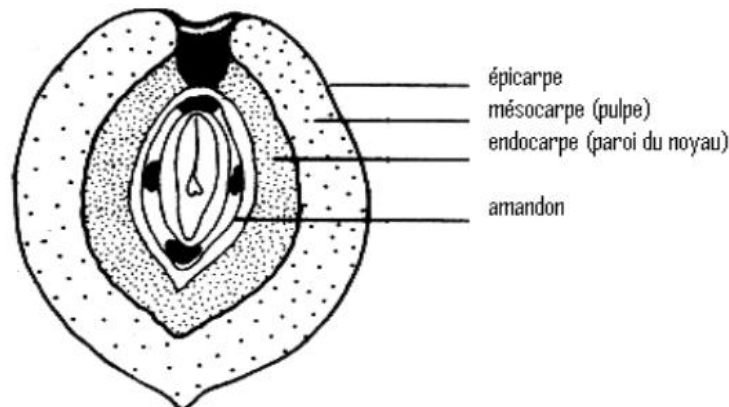


Figure II.13. Section transversale (a) et composition physique de l'olive (b)

Pour faciliter la compréhension des variations de composition chimique entre les différents types de grignons, il peut être utile de se référer au tableau II.8, qui présente la composition chimique des différents composants de l'olive.

Tableau II.8. Composition chimique des composants de l'olive mûre [41]

Partie	Matières azotées totales	Matières grasses	Cellulose brute	Matières minérales	Extractif non azoté
Epicarpe	9.8	3.4	2.4	1.6	82.8
Mésocarpe	9.6	51.8	12.0	2.3	24.2
Endocarpes (noyau et amandon)	1.2	0.8	74.1	1.2	22.7

II.2.3. La coque des Noix

II.2.3.1. Composition physique :

La noix est composée de plusieurs éléments physiques distincts qui contribuent à sa structure. Les principales composantes physiques de la noix sont :

1. **Coque** : c'est la couche dure et rigide qui entoure la noix. Elle est composée de fibres lignifiées et résistantes qui offrent une protection à la graine à l'intérieur.
2. **Membrane** : c'est une fine enveloppe qui entoure la graine à l'intérieur de la coque. Elle est généralement mince et translucide.
3. **Graine** : c'est l'élément principal et comestible de la noix. Elle est protégée par la coque et la membrane. La graine contient une amande, qui est le noyau comestible.
4. **Amande** : c'est la partie comestible de la graine de noix. Elle est généralement de forme ovale et possède une texture douce et croquante. L'amande est riche en nutriments tels que les graisses, les protéines et les fibres.

II.2.4. Résultats de l'analyse chimique des ajouts (CGO+CN)

Pour les ajouts végétaux utilisés dans notre étude, le grignon d'olive et la noix sont composés principalement de cellulose, de lignine et hémicellulose et une petite quantité de cendres.

La cellulose, le composant principal, constitue environ 41.40% pour la CN, 39.8 % pour CGO. La lignine constitue 30.6% pour la CN et de 26.8 pour la CGO (voir le tableau II.7). Bien que la lignine se produise dans tout le mur des celluloses, elle est concentrée vers l'extérieur des cellules et entre les cellules

La lignine s'appelle souvent l'agent de cimentage qui lie les différentes cellules les unes aux autres [41]

On constate d'après les résultats de l'analyse chimique de la coque de noix effectuée au laboratoire de biologie à l'université de Bejaia, que la cellulose et la lignine sont concentrées plus dans la coque de noix. Ce qui signifie que la CN a une résistance mécanique plus élevée et une résistance à la décomposition, c'est-à-dire la CN se dégrade plus lentement que d'autres parties de la plante cela favorise la conservation à long terme.

Tableau II.9. Composition chimique des ajouts utilisée (CGO,CN)

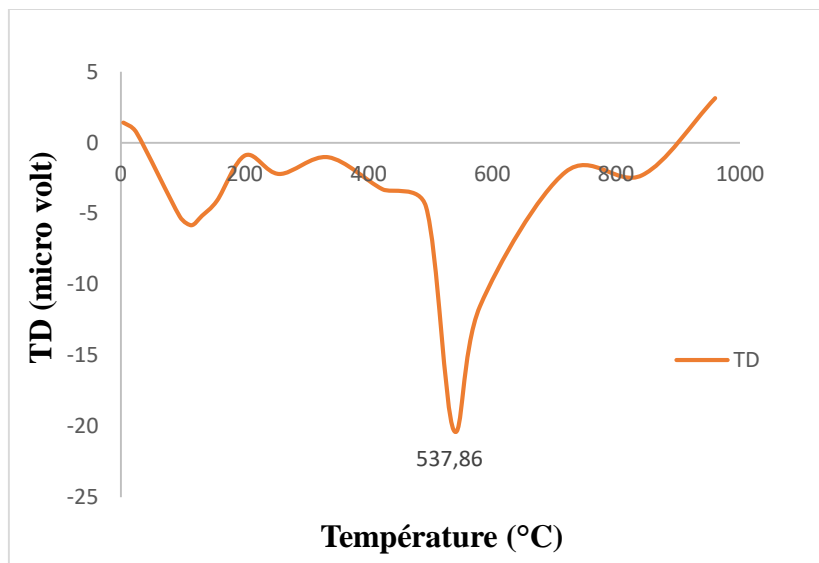
	Noix (%)	Grignon d'olive (%)
Lignine	30.30	26.8
Cellulose	41.40	39.8
Hémicellulose	10.1	16.3
Cendres	3.2	1.1

La petite quantité de la cendre couplée avec la grande quantité de fibre (lignine, cellulose, et hémicellulose) fait que les grignons d'olive et la noix conviennent pour être utilisés dans les matériaux de construction.

II.3. Méthode thermiques des solides

II.3.1. Analyse thermique différentielle (ATD)

L'Analyse Thermique Différentielle (ATD) est basée sur l'étude de la chaleur dégagée Ou absorbé par une substance lors d'un changement physique ou chimique. Nous enregistrons la courbe de changement de température du matériau par rapport à l'oxyde inerte. Toute transition de phase ; cristallisation appauvrie ou réaction chimique Ou libérer la chaleur dans l'échantillon pour générer une différence de température entre lui et son environnement. Cette différence atteint un maximum lorsque le taux de production ou de consommation augmente La chaleur de l'échantillon n'est plus supérieure au taux d'échange de chaleur entre l'échantillon et son environnement. Puis il diminue plus ou moins lentement, jusqu'à ce que l'équilibre de température soit de nouveau atteint.

✚ Résultats et discussion**Figure II.14.** ATD de l'argile.

La figure II.14 représente l'ATD de l'argile chauffée à 1000°C à la vitesse de 5°C/min, dans le plan de chaleur indiqué par la figure deux pics endothermique et deux exothermique sont observés.

L'argile utilisée est riche en oxyde de fer. Un pic endothermique est observé entre 230°C et 330°C, il est concomitant à la perte de masse relative sur la courbe ATG (figure II.15-16)

Nous avons donc :

- [0°C-200°C]: élimination des eaux adsorbées et d'humidité
- [200°C-335°C]: déshydroxylation d'oxyde de ferriques Et plus largement
- [200°C-980°C]: déshydroxylation des phyllosilicates

II.3.1. Analyse thermique thermogravimétrique (ATG)

L'analyse thermogravimétrique (ATG) permet de mesurer la variation de la masse d'un échantillon soumis à un régime de température.

✚ Résultats et interprétation

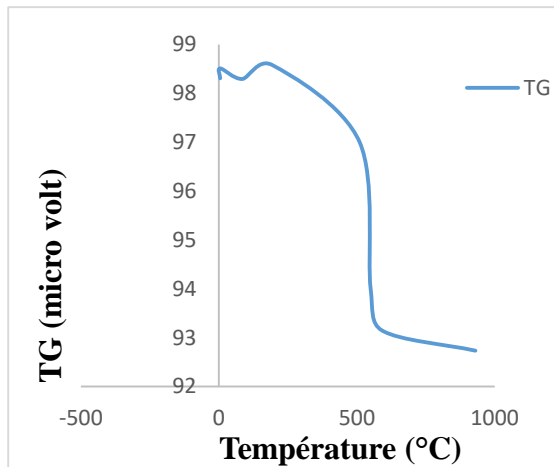


Figure II.15. ATG de l'argile.

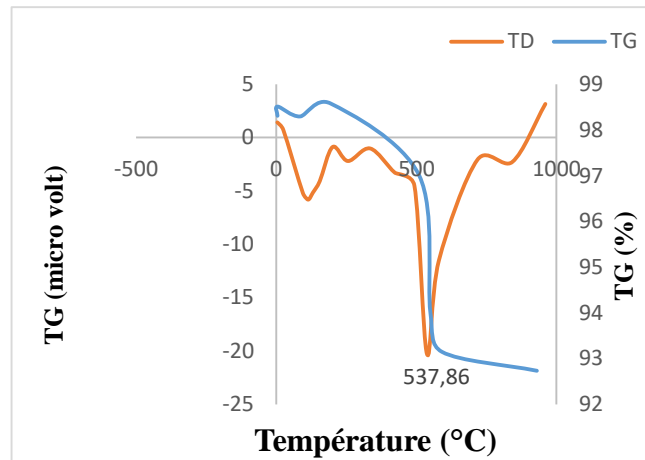


Figure II.16. Comparaison ATD
ATG de l'argile

La courbe ATG (Figure II.15) de l'argile montre une chute importante dans l'intervalle 400°C-590°C. Il s'agit d'un pic endothermique correspondant à la déshydroxylation des minéraux argileux qui s'accompagne par une perte en poids selon la nature du composant.

II.4. Conclusion

Ce chapitre a pour objectif d'analyser les matériaux utilisés dans la fabrication de la brique. Les résultats les plus remarquables dans cette caractérisation se résument dans ce qui suit :

- L'analyse chimique de l'argile utilisée montre une forte teneur en silice SiO_2 (54,29) et faible teneur en chaux CaO (1,31).
- Les minéraux argileux sont essentiellement représentés par un pourcentage important de Quartz, Kaolinite, Illite, et des traces de minéraux ferrugineux et d'albite, muscovite et palygorskite.
- D'après les limites d'Atterberg l'argile est classée comme un sol plastique avec une teneur en eau de 1,06% et un indice de plasticité de 18,06%.
- L'analyse granulométrique par tamisage permet de visualiser la distribution des tailles de particules dans l'échantillon à travers différents diamètres de tamis.
- Une analyse granulométrique par sédimentométrie a été effectuée pour les particules fines (inférieures à 80 µm) : l'échantillon est dispersé dans un liquide et la vitesse de sédimentation des particules est mesurée, ce qui permet de déterminer les tailles de particules plus petites et d'obtenir une courbe granulométrique plus complète.
- L'analyse chimique des ajouts organiques montre qu'ils contiennent des quantités considérables de cellulose (GO+N).
- La courbe ATG montre une chute remarquable entre (400°C, 590°C) de la masse.

Chapitre III

Essais et Discussions

Introduction

Dans ce troisième chapitre, nous allons confectionner les différents échantillons aux différents pourcentages d'ajouts à savoir le noyau d'olive et le noyau de noix. Ces échantillons seront soumis à l'épreuve par différents essais pour évaluer leurs performances physico-mécanique et thermique.

III.1. Introduction :

L'argile est utilisée depuis l'Antiquité pour fabriquer de la terre crue, de la terre battue et des contenants. Aujourd'hui, elle est utilisée à la fois comme petits composants et pour la grande distribution (briques de construction), et si la consommation de ces produits tend à se généraliser, leur production est encore très peu développée dans certains pays en développement. En raison de ses diverses propriétés physico-chimiques, l'argile a été utilisée pour fabriquer des poteries rudimentaires [41]. Et aujourd'hui l'utilisation de ces matériaux connaît un nouvel essor dans de nombreux domaines industriels, en l'occurrence la céramique et la construction.

L'utilisation de matières organiques dans la fabrication de briques présente plusieurs avantages environnementaux, l'ajout de substances végétales réduit la consommation de ressources naturelles non renouvelables et en plus peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effets de serre. Les briques traditionnelles nécessitent souvent une utilisation intensive d'argile et d'autres minéraux, ce qui entraîne une surexploitation des ressources naturelles. En incorporant des fibres végétales telles que du bambou, de la paille ou encore des fibres de jute dans la composition des briques, la quantité des matières premières nécessaires peut être fortement réduite tout en conservant des propriétés structurelles essentielles.

Dans ce chapitre, Nous analyserons l'effet d'ajouts de matières organiques (grignon d'olive et coque de noix) sur les propriétés de la brique confectionnée

III.2. Confection des briques pleines

Les produits cuits ont été fabriqués selon les étapes suivantes : la préparation, façonnage et la cuisson.

La coque de grignon d'olive et la coque des noix ont subi un broyage en poudre (l'analyse granulométrique est donnée en Chapitre 2)

III.2.1. Préparations des mélanges

Avant de former des pâtes propres à la fabrication des produits finis, l'argile est finement broyée et passée au tamis de 1mm dans le but de diminuer les dimensions des mottes d'argiles et d'offrir une plus grande surface de contact aux différents constituants.



Figure III.1. Broyage de l'argile.

Nous avons confectionné 2 série d'échantillons pour chaque ajout (noyau d'olive de noix). Les pourcentages d'ajouts sont fixés à 5 et 10% pour chacun des déchets utilisés (CGO ;CN). Nous aurons donc cinq séries d'échantillons. La série 1 est la brique standard d'argile (0% ajouts) qui servira de témoin. Les séries 2, 3, 4 et 5 contiennent des additions de résidu de 5% (CGO), 10% (CGO), 5% (CN) et 10%(CN) respectivement.

Le malaxage dans un malaxeur à mortier donne un mélange non ségrégué et homogène, les briques pleines de dimensions $(10*6*2)\text{cm}^3$ ont été préparées minutieusement au laboratoire.



Figure III.2. Malaxeur à mortier

On additionne l'ensemble argile-CGO et argile-CN avec la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte plastique. La plasticité est l'une de propriétés fondamentales d'une argile.

L'adsorption d'eau était dès l'origine l'un des caractères distinctifs de l'argile. En effet, les grains, en s'entourant d'eau, acquièrent un comportement de moins en moins rigide au fur et mesure que l'on s'éloigne de leur ossature. Ces grains sous forme de plaquettes se prêtent dans un échantillon, à une déformation d'un caractère particulier : elle se produit par des mouvements de glissement de ces particules. Le glissement s'effectue grâce à l'eau adsorbée.

Elle joue un rôle de lubrifiant entre les grains en leur évitant un contact frottant et en leur assurant la continuité des liaisons pendant ces déformations. C'est précisément ce mécanisme qui confère à l'argile son caractère plastique.

III.2.2. Façonnage

Pour le processus de façonnage, une certaine quantité de la pâte est prélevée et placée dans un moule préalablement enduit d'huile pour éviter toute adhérence. La pâte est ensuite pressée d'une manière adéquate afin de remplir le moule, puis elle est vibrée pendant quelques secondes pour assurer un positionnement optimal, on rase l'excédent, ensuite on procède au démoulage.

Des échantillons de briques pleines ont été confectionnés à l'aide des équipements de laboratoire (Figure III.3).



Figure III.3. Echantillon de briques façonnés à l'aide de malaxeur séchés à l'air libre.

Tableau III.1. Les teneurs en eau de façonnage.

Echantillon	N° la tare	Poids de tare(g)	Poids tare+poids sec(g)	Poids tare+poids humide (g)	Teneur en eau (%)
0% (A)	60	7.4	12	13	21.73.
5% (CN)	45	7.4	11.9	13.2	28.9.
10% (CN)	56	7.5	11.3	12.6	34.21
5% (CGO)	37	7.4	12.9	14.7	32.8
10% (CGO)	78	7.5	13.9	16	32.81

III.2.3. Séchage

Les échantillons ainsi formés ont été séchés à l'air libre au laboratoire pendant 72h (Figure III.3) pour être séchés ensuite dans l'étuve à 105°C jusqu'à ce que le poids soit constant (Figure III.4). La masse constante est atteinte lorsque la variation de masse entre trois pesées consécutives effectuées à au moins 24h d'intervalle est inférieure à 0.1% de la masse totale.

Le séchage est une étape sensible et elle doit être longue, progressive et bien homogène, ce dernier a pour but d'éliminer lentement l'eau de mouillage sans déformer le produit.

Lorsque le séchage des briques s'effectue mal, il peut y'avoir des déformations, des fendillements et autres accidents. En effet la réalisation d'une cuisson d'un produit céramique cru, c'est-à-dire n'ayant pas encore perdu une bonne partie de l'eau qu'il contient, conduit à un risque de fissuration et d'éclatement.



Figure III.4. Echantillon de briques séchés à l'étuve à 105°C

III.2.4. Cuisson

Les échantillons ont été placés dans un four électrique (four à moufle) et soumis à une température de 950°C pour la cuisson (Figure III.5). Une fois la cuisson terminée, le four a été éteint et les briques sont restées à l'intérieur pendant un certain temps pour permettre un refroidissement progressif et éviter les chocs thermiques.

La cuisson est une étape essentielle qui permet de consolider thermiquement le matériau en un corps dense. C'est la dernière étape de fabrication des briques et elle est complexe. Cette étape est délicate car elle implique d'exposer le bloc d'argile à une augmentation progressive de la température jusqu'à la température de cuisson. Au cours de ce processus, la brique subit diverses modifications chimiques et physiques qui favorisent la formation de liaisons céramiques.

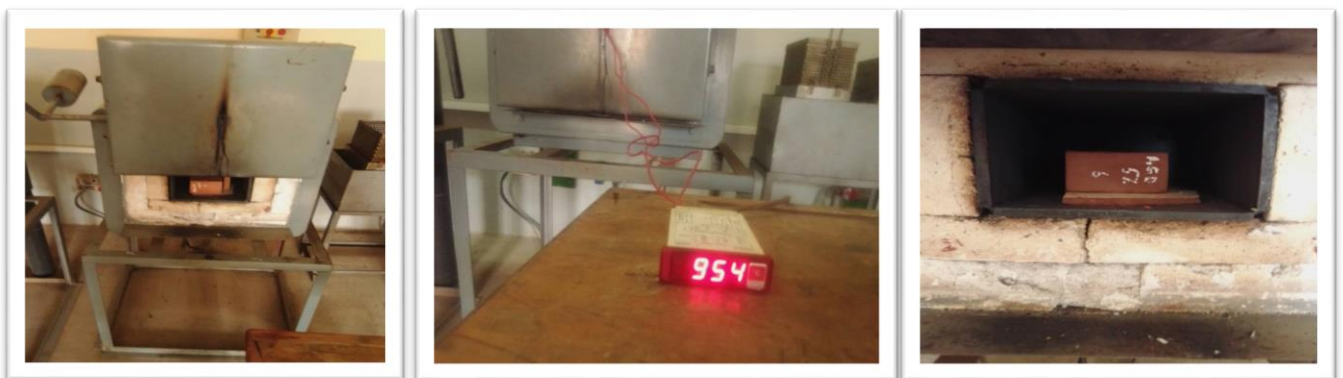


Figure III.5. Echantillon de briques au four à 950°C

III.3. Caractérisation des briquettes avec ajouts de la coque du grignon d'olive et la coque du noix (CGO+CN)

Une fois que les échantillons de briques contenant du (CGO+CN) ont été fabriqués, ils seront soumis à différents essais.

Les spécifications techniques des briques pleines sont définies par les normes algériennes (NA) adoptées par le comité technique national N°37 "Liants-Bétons-Granulats". Ces normes ont le statut de normes enregistrées, conformément à la résolution du procès-verbal de la réunion N°2 du 14/05/95.

Les tests comprendront une analyse de l'aspect physique des matériaux fabriqués, tels que le retrait, la perte au feu, la densité, la porosité et la capacité d'absorption d'eau. De plus, une analyse des résistances mécaniques, notamment la résistance à la compression, sera réalisée. Enfin, la conductivité thermique sera mesurée à l'aide de la méthode du fil chaud gardé.

III.3.1 Caractéristiques physiques

III.3.1.1. Perte en poids au séchage

Une fois les échantillons de briques confectionnées sont démoulés, nous avons constaté qu'elles présentaient une excellente cohésion et une compacité satisfaisante. Aucun défaut apparent tel que des fissures ou des déformations n'a été observé

Les échantillons ont été pesés juste après le démoulage W_p et après le séchage à l'étuve W_s . La perte en poids au séchage (P_s) est calculée par la relation suivante :

$$P_s (\%) = \frac{w_p - w_s}{w_p} * 100$$

Avec :

P_s : Perte en poids après séchage

W_p : poids de la brique à l'état plastique (après façonnage)

W_s : poids de la brique au séchage

Les résultats sont représentés dans le tableau III.2

Tableau III.2. Perte en poids au séchage des échantillons aux différents pourcentages de l'ajout

(%) d'ajout	Perte en poids au séchage P_s (%)
0%	18.84
5%(CN)	22.76
10%(CN)	25.20
5%(CGO)	24.21
10% (CGO)	26.05

✚ Résultat et discussion :

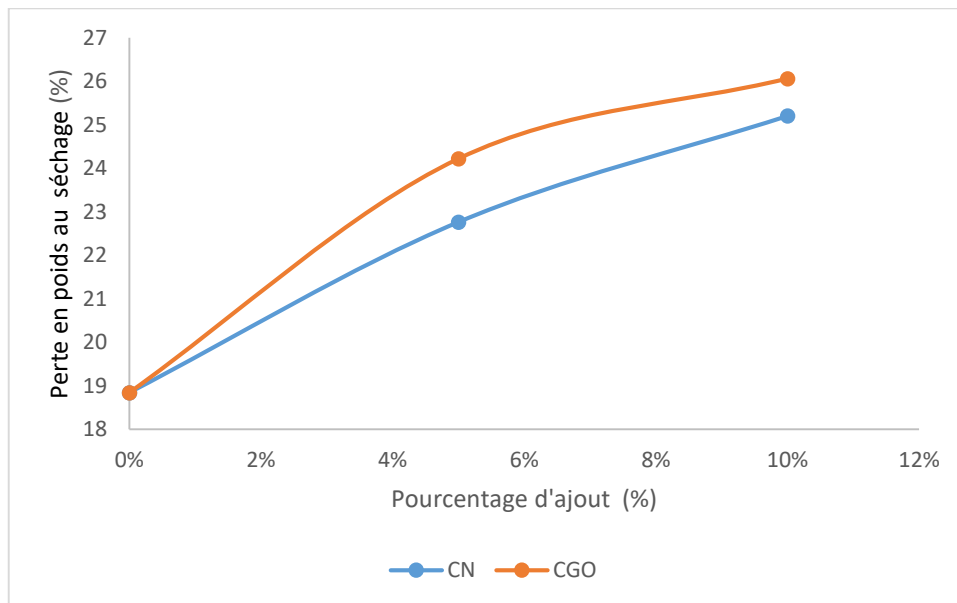


Figure III.6. Perte en poids au séchage en fonction du pourcentage d'ajout

La perte en poids au séchage correspond à la teneur en eau de façonnage. Nous constatons par la figure III.6, que cette perte en poids au séchage augmente au fur à mesure que le pourcentage d'ajout augmente. Les ajouts végétaux (CGO et CN) accusent une absorption d'eau importantes à cause de leurs compositions ligno-cellulosiques (voir l'analyse chimique des ajouts donnée au chapitre II). La cellulose est un composé hydrophile et de fait, elle a tendance à absorber plus d'eau. Par rapport aux deux ajouts utilisés, la CN présente un pourcentage en cellulose de 41.4% qui est plus important que pour la CGO (39.8%). Ceci explique la teneur en eau de façonnage plus élevée pour les échantillons avec ajout de CN. C'est ce qui corrobore la perte en poids plus importante pour les échantillons (A+CN).

III.3.1.2. Retrait au séchage

Une fois les briques séchées à l'air et en étuve, elles ont subi une contraction. Cette contraction est connue sous le nom de retrait de séchage (R_s).

Ce dernier est calculé par la relation suivante :

$$R_s (\%) = \frac{L_p - L_s}{L_p} * 100$$

Avec :

L_p : Longueur de la brique à l'état plastique (après façonnage)

L_s : Longueur de la brique au séchage

Les résultats sont consignés dans le tableau III.3

Tableau III.3. Retrait au séchage de l'ensemble des échantillons

(%) d'ajout	Retrait au séchage R_s (%)
0%(A)	4.29
5%(CN)	5.8
10%(CN)	6.3
5%(CGO)	6.1
10% (CGO)	6.8

➤ Résultat et discussion

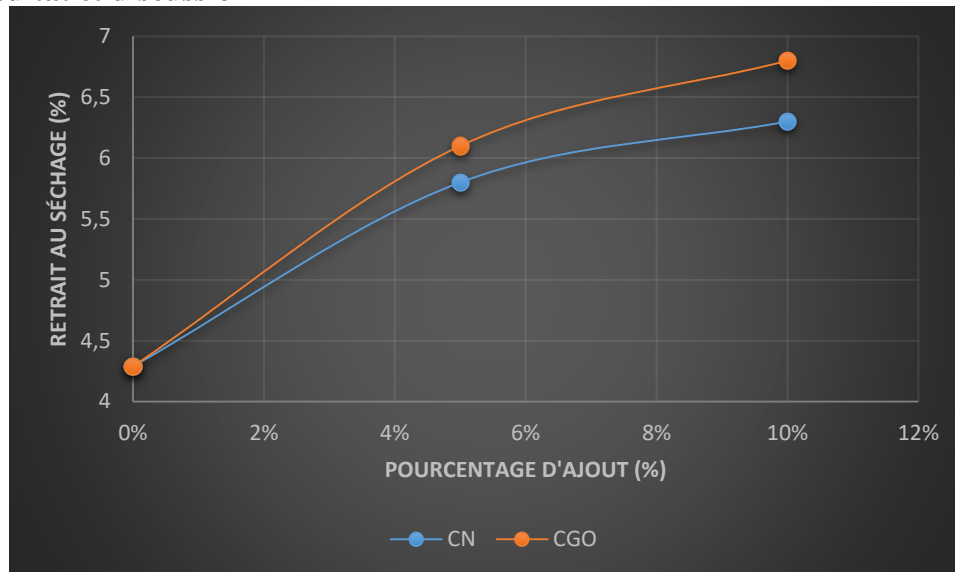


Figure III.7. Retrait au séchage en fonction du pourcentage d'ajout.

D'après les résultats montrés dans la figure III.7 le départ d'eau rapproches les particules argileuses et elles se mêlent jusqu'à ce qu'elles soient en contact, ce rapprochement provoque une densification, et tassement de la matière qui entraîne le retrait, ceci explique que pour une argile donnée, plus le pourcentage d'eau contenu dans la pâte de façonnage est grand plus le retrait est important. Les échantillons (GO) présentent des pourcentages de teneur en eau de façonnage plus importante que pour les échantillons (CN).

III.3.1.3. Perte au feu

La perte au feu est une perte en poids de l'échantillon après la cuisson. Cette perte en poids est une propriété importante dans l'étude des briques. Plus une brique est compacte, plus ses performances mécaniques seront élevées. Mais plus elle est légère, plus sa mise en œuvre sera facile et sa résistance thermique sera meilleure. Il est donc important de trouver un arrangement entre les deux. Cette perte au feu devrait rester acceptable afin d'éviter une grande déformation de la brique.

La limite de tolérance de la perte au feu est fixé à 25% Cette dernière est calculée par la formule suivante :

$$P_f (\%) = \frac{W_s - W_f}{W_s} * 100$$

Avec :

w_s : Poids de la brique au séchage

w_f : Poids de la brique après la mise à feu (après cuisson)

Les résultats des pertes au feu des différents échantillons cuits à 950°C sont donnés dans le tableau III.4

Tableau III.4. Perte au feu de l'ensemble des échantillons cuits a une température de 950°C

(%) d'ajout	Perte au feu p_f (%)
0%(A)	6,85
5%(CN)	10.86
10%(CN)	15.38
5%(CGO)	10.91
10%(CGO)	14.61

✚ Résultat et discussion

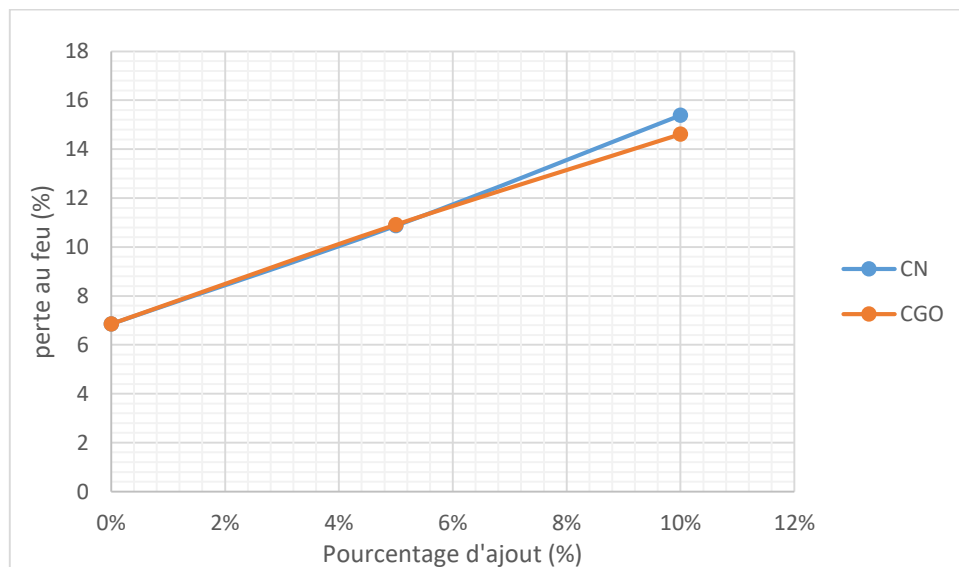


Figure III.8. Perte au feu en fonction du pourcentage d'ajout à une température de 950°C

On constate pour les deux ajouts que la perte en poids après cuisson augmente au fur et à mesure que leurs pourcentages augmentent. Cela peut être expliqué par la combustion des matières organique (CN+GO). Ces derniers se consomment aux environs 578°C comme montré à la figure III.8 qui représente l'analyse thermique gravimétrique des ajouts CGO et NC

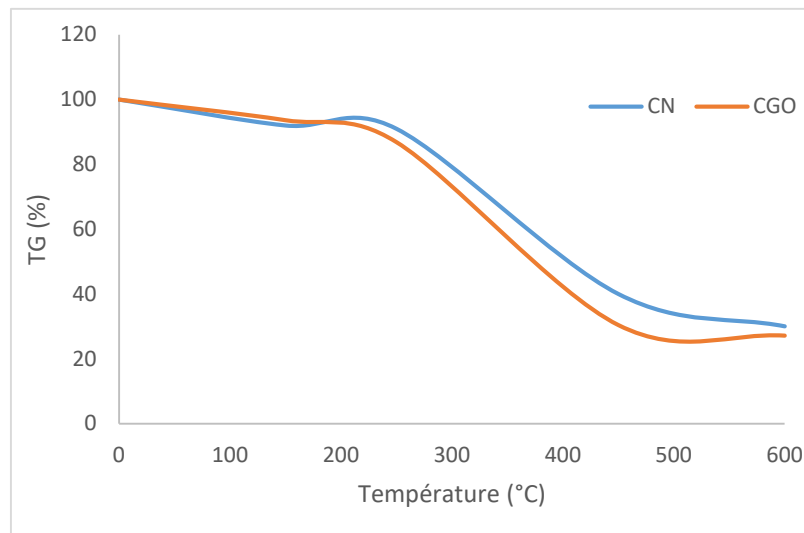


Figure III.8. Analyse thermique gravimétrique des ajouts CGO et NC

III.3.1.4. Retrait après cuisson

Après la cuisson, tout comme lors du processus de séchage, les briques subissent un retrait. Les dimensions extérieures des briques cuites sont légèrement réduites par rapport à celles des briques avant cuisson.

$$R_c (\%) = \frac{L_p - L_f}{L_s} * 100$$

Avec :

L_p : Longueur de la brique au façonnage.

L_f : Longueur de la brique après la mise à feu.

Les résultats sont donnés dans le tableau III.5

Tableau III.5. Retrait à la cuisson l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C.

(%) d'ajout	Retrait à la cuisson R_c (%)
0%(A)	4.63
5%(CN)	5.99
10%(CN)	6.62
5%(CGO)	5.81
10% (CGO)	6.5

➤ Résultat et discussion

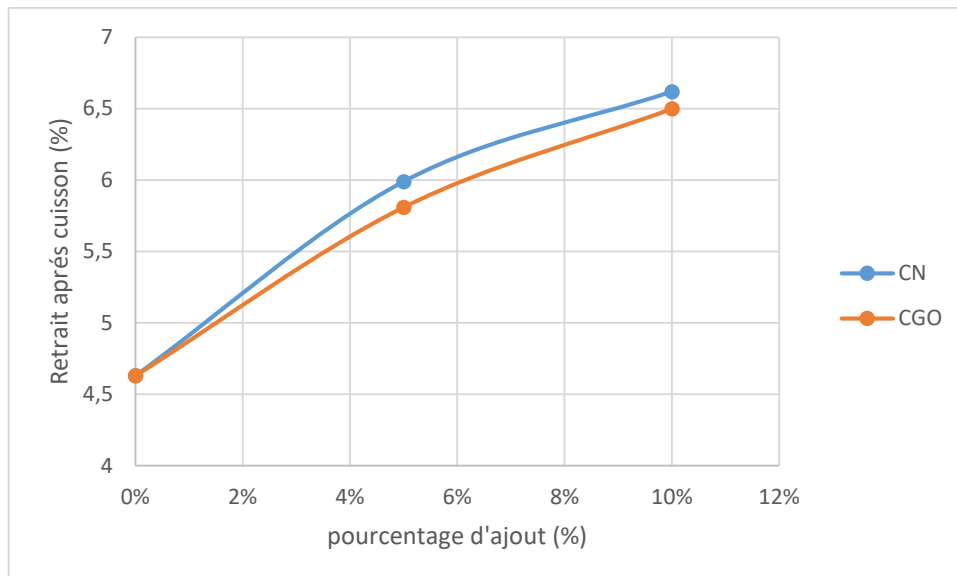


Figure III.9. Retrait après cuisson en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C

Comme pour le retrait au séchage, le retrait total après la cuisson augmente en fonction du pourcentage des deux ajouts. L'allure du graphe du retrait des séries CGO et CN est presque semblable. La différence est vraiment insignifiante

III.3.1.5. Absorption d'eau, masse volumique apparente et porosité

L'absorption d'eau est déterminée par immersion d'une éprouvette de brique dans l'eau jusqu'à masse constante. Cette dernière est considérée comme constante lorsque deux pesées successives à 24 heures d'intervalle donnent une différence inférieure à 0.1%

La masse volumique apparente et la porosité ouverte des échantillons sont déterminées par pesée hydrostatique en utilisant le dispositif illustré dans la figure III.11

Chaque échantillon est pesé à l'air et dans l'eau. Les échantillons sont d'abord séchés dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à ce que le poids soit constant. Des pesées à l'état sec dans l'air ont été prises. Ces échantillons sont immergés dans l'eau jusqu'à saturation complète figure III.10.

Une fois que les échantillons sont saturés, des pesées hydrostatiques en état saturé immergé sont réalisées, suivies d'une pesée en état saturé à l'air.



Figure III.10. Les échantillons à l'état de saturation.

L'absorption d'eau par immersion est le résultat des mouvements capillaires dans les pores de la brique qui sont ouverts sur le milieu ambiant. L'absorption d'eau donne une image sur la porosité, elle est donc utilisée comme un indicateur important de la quantité de la brique.

L'absorption d'eau, la masse volumique apparentes et la porosité ouverte (porosité accessible à l'eau) ont été évaluées en effectuant les calculs suivants :

$$A(\%) = \frac{(M_h - M_s)}{M_s} * 100$$

$$\rho_{app}(\%) = \frac{M_s}{M_h - M_e} * \rho_e$$

$$P(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_h - M_e} * 100$$

Avec :

A : Absorption d'eau

M_h : Masse saturée dans l'air

M_s : Masse sèche dans l'air

M_e : Masse de l'échantillon immergé dans l'eau

ρ_e : Masse volumique de l'eau



Figure III.11. Dispositif de la pesés hydrostatique

III.3.1.5.1. La porosité

Les résultats du calcul du pourcentage de porosités ouvertes à l'eau, sont donnés dans le tableau III.6

Tableau III.6. Porosité de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C

(%) d'ajout	Porosité P(%)
0%	13,690
5%(CN)	25.444
10%(CN)	28.1
5%(CGO)	27.555
10%(CGO)	29.431

✚ Résultat et discussion

La figure III.12., présente l'évolution de la porosité ouverte en fonction de pourcentage d'ajout.

Nous avons constaté que cette caractéristique augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout et ce quel que soit la nature de l'ajout. Ceci est dû à la combustion de la matière végétale dans le corps d'argile.

Les échantillons avec ajout de la GO présentent des valeurs de porosité légèrement plus importante que celles des échantillons avec ajout de CN.

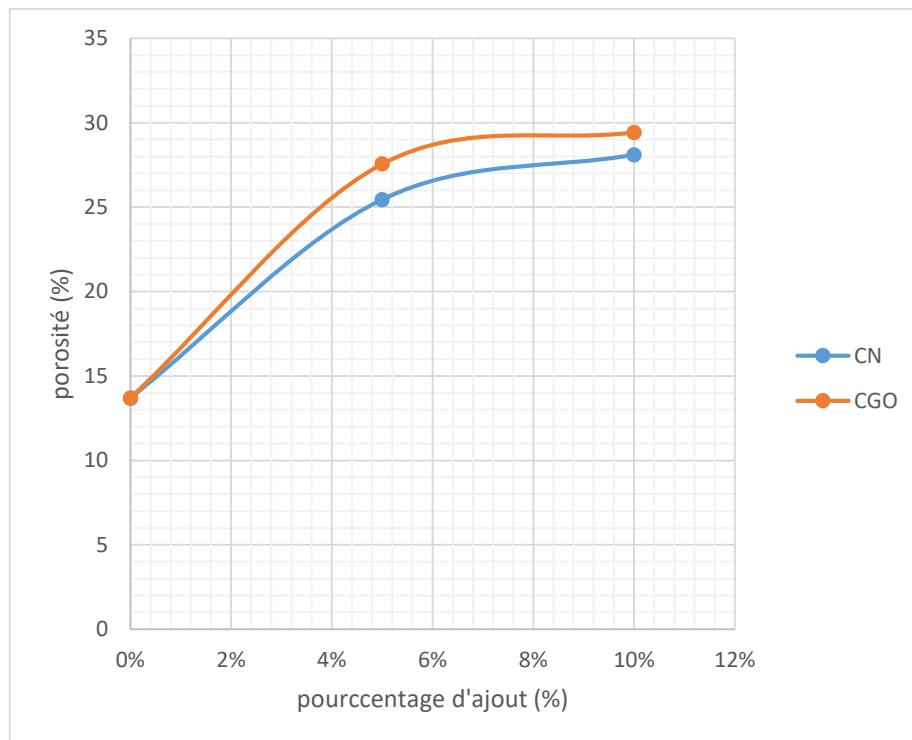


Figure III.12. Evolution de la porosité en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C.

III.3.1.5.2. Pourcentage d'absorption d'eau

Cette étude a mis en évidence l'influence de l'ajout sur le pourcentage d'absorption d'eau. Tous les échantillons avec ajouts ont montré une évolution de cette absorption par rapport à l'échantillon témoin.

Les résultats de mesure de pourcentage d'absorption d'eau pour l'ensemble des échantillons des deux argiles sont donnés dans le tableau III.7

Tableau III.7. Absorption d'eau de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C

(%) d'ajout	Absorption d'eau A (%)
0%	7,30
5%(CN)	14.39
10%(CN)	19.80
5%(CGO)	15.58
10% (CGO)	17.73

✚ Résultat et discussion

A partir des résultats de masse de pourcentage d'absorption d'eau pour l'ensemble des échantillons, on dénote une évolution de ce paramètre par rapport à l'échantillon témoin qui présente la plus basse valeur.

Cette augmentation causée par la combustion des ajouts organiques (CN, CGO) en laissant la place à des vides. L'augmentation de la porosité comme il est démontré au paragraphe III.3.1.5.1, a engendré effectivement une augmentation de l'absorption d'eau

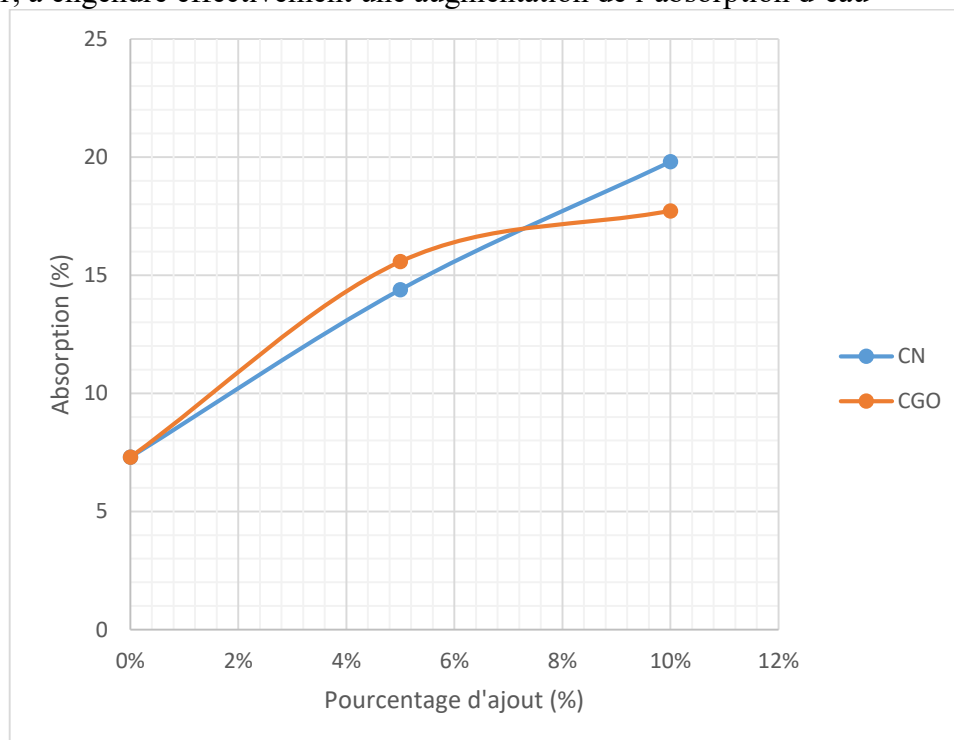


Figure III.13. Evolution du pourcentage d'absorption en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C

III.3.1.5.3. Détermination de coefficient d'absorption d'eau

L'essai a pour objet la détermination d'un critère permettant d'apprécier le pouvoir de succion d'un matériau au contact du mortier d'assemblage. L'essai est exécuté sur un échantillon composé de 6 produits au minimum.

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

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

Avec :

M : masse d'eau en gramme absorbée par la brique depuis le début de l'immersion.

S : surface de la face immergée exprimée en cm²

t : temps en minutes écoulé depuis le début de l'immersion. Dans les conditions de l'essai (t = 10 minutes)

La formule précédente s'écrit alors :

$$C = 31.6 \frac{(M)}{(S)}$$

La mesure est effectuée sur sept briques entières selon la norme algérienne NA 1957.

a. Mode opératoire

Les briques sont séchées dans une étuve à une température de 100-110°C jusqu'à ce que leur poids soit constant. Une fois pesées, leur masse est enregistrée. Ensuite, les briques sont immergées avec une face à enduire, qui se trouve à 5 mm en dessous du niveau de l'eau. Après 10 minutes, les briques sont retirées de l'eau et essuyées avec un linge humide. Enfin, elles sont pesées à nouveau pour déterminer la quantité d'eau absorbée.

Le coefficient d'absorption d'eau C est directement lié à l'adhérence du mortier de pose et à l'accrochage de l'enduit.



Figure III.14. Détermination du coefficient d'absorption d'eau

Les limites admissibles de C des produits céramiques sont données sur le tableau III.8 plus C est petit, plus l'adhérence est bonne

Tableau III.8: Limite admissible du coefficient d'absorption d'eau

Nature du produit	C ≤ %
Brique pleine	30
Brique pleine filée à l'étireuse horizontale	40
Brique pleine ordinaire ou pressée	60

Brique creuse	15
----------------------	-----------

b. Présentation des résultats

Le tableau III.9 donne les résultats obtenus pour la série d'échantillons réalisées au laboratoire.

On notera par :

P : poids de la brique après étuvage

P' : poids de la brique après immersion dans l'eau

S : section de la face à enduire en cm

Tableau III.9. Coefficient d'absorption des échantillons

Echantillon	Poids de la brique après étuve (g)	Poids de la brique après immersion dans l'eau (g)	Section de la face cm ²	Coefficient d'absorption (%)
0% A	194	189	17.48	9.08
5% CN	168.8	159.1	16.38	18.71
10% CN	158.9	141.9	16.22	33.05
5% CGO	167.9	159.2	16.28	16.88
10% CGO	157.4	146.1	17057	20.32

c. Interprétation des résultats

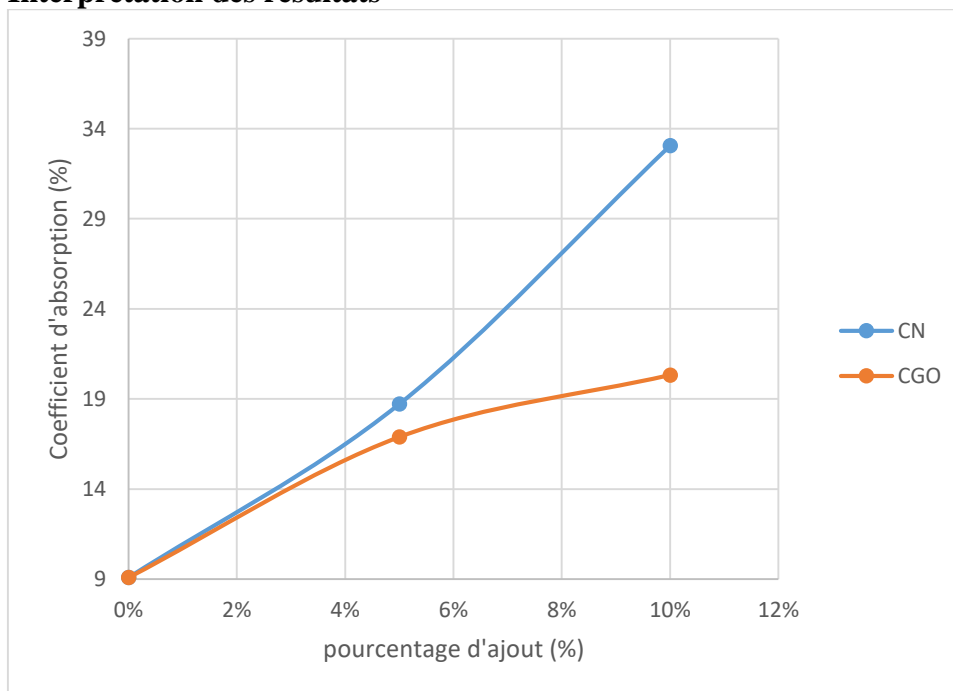


Figure III.15. Evolution du coefficient d'absorption en fonction du pourcentage d'ajout.

Une forte absorption d'eau ne donne pas une bonne adhérence du mortier sur la brique, donc on l'occurrence notre produit possède des taux différents de coefficient d'absorption en fonction de pourcentage d'ajout.

Ce paramètre augmente en fonction de l'accroissement du pourcentage de matière organique et le pouvoir d'incorporation de cette dernière. Cela signifie plus la brique est poreuse il y a des vides dont les particules d'eau venir résider.

III.3.1.5.4. Masse volumique apparente

Les résultats des masses volumiques apparentes sont donnés dans le tableau III.10

Tableau III.10. La masse volumique apparente de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C

(%) d'ajout	Masse volumique apparente ρ_{app} (%)
0%	2.01
5%(CN)	1.59
10%(CN)	1.38
5%(CGO)	1.63
10% (CGO)	1.43

✚ Résultat et discussion

Nous avons constaté que la masse volumique apparente diminue avec l'augmentation de pourcentage de l'ajout organique (figure III.16). La tendance observée s'explique par la combustion des résidus lors de la cuisson, ce qui entraîne des briques plus légères que celles de la série témoin, avec une densité de pores plus important

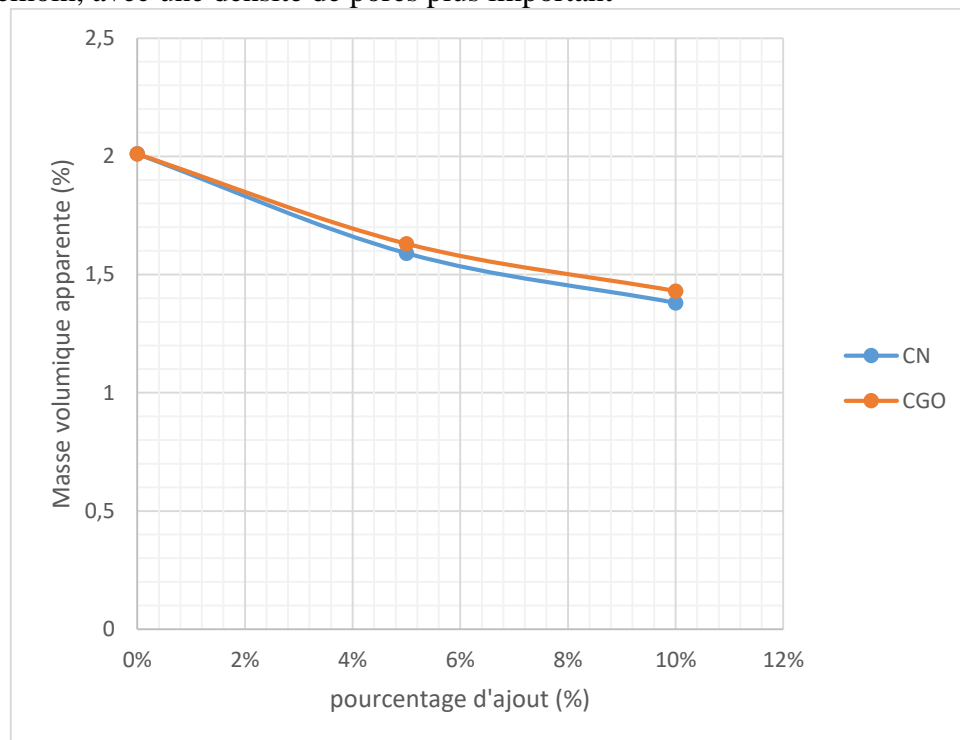


Figure III.16. Evolution de la masse volumique apparente en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C.

III.3.2 Caractéristiques mécaniques

Pour la réalisation de tout projet architectural, la connaissance de la résistance mécanique des matériaux est d'une grande utilité. Elle permet entre autre de s'assurer que les ouvrages à élaborer ou à dimensionner ne seront pas faibles et qu'ils ne s'écrouleront pas, ou encore qu'ils résisteront aux contraintes auxquelles ils seront soumis.

La détermination de la résistance à la compression des produits crus, à la flexion et à la compression des briquettes élaborées est réalisée comme c'est décrit dans les paragraphe suivant.

III.3.2.1. Résistance à la compression :

La norme algérienne NA 5023 a pour objet de déterminer la résistance à la compression des briques. L'essai est effectué sur 6 éprouvettes.

Avant l'épreuve de résistance à la compression, éliminer les arêtes résultantes du moulage. Les briques ayant plus de 6% d'humidité par rapport à la masse doivent être séchées à des températures supérieures à 60°C jusqu'à obtention d'une teneur en humidité de 2 à 3%.

L'épreuve de la résistance à la compression doit être réalisée par une machine à essai de compression. La compression doit être appliquée toujours en sens perpendiculaire sur la surface sur laquelle reposera la brique (figure III.17)



Figure III.17. Essai de la résistance à la compression

Les résultats sont donnés dans le tableau III.11

Tableau III.11. Résistance à la compression de l'ensemble des échantillons cuits à une température de 950°C

(%) d'ajout	Résistance à la compression σ_c (MPa)
0% (A)	74.93
5%(CN)	26.03
10%(CN)	19.65
5%(CGO)	27.84
10% (CGO)	21.42

✚ Résultats et interprétations

La résistance à la compression des différents échantillons est influencée par la variation du pourcentage d'ajout :

- Brique avec 0% d'ajout montre une résistance à la compression très élevée ce qui est prévisible vu la masse volumique apparente enregistrée (2.01g/cm^3). L'échantillon témoin est très compact.
- Une chute de résistance a été enregistrée pour les échantillons avec ajouts. Cette chute est très importante par rapport à l'échantillon témoin. Nous avons dénoté une baisse de résistance de 65.26% et 62.84% pour les 5% d'ajouts de CN et CGO respectivement. Par contre cette diminution est moindre allant de 5 à 10% d'ajouts de CN et CGO. Le pourcentage de chute est de 24.51% pour les échantillons CN et 23.06% pour les échantillons CGO. Cette baisse de résistance est due à la combustion de la matière. La présence d'un pourcentage très élevé d'oxyde de fer Fe_2O_3 a probablement créé des fissures avec la chaleur dégagée par la consommation de la matière végétale.
- Les fondants contenus dans la terre entrent en réaction et communiquent aux produits leurs qualités mécaniques définitives ; c'est ce qu'on appelle le grésage, qui s'accompagne d'une baisse de porosité du tessou. Les oxydes alcalins (soude et potasse) jouent le rôle de fondants. Associés à l'oxyde de fer, ils provoquent, au cours de la cuisson, les réactions de grésage qui confèrent aux produits leurs qualités définitives, et tout particulièrement leur résistance mécanique.

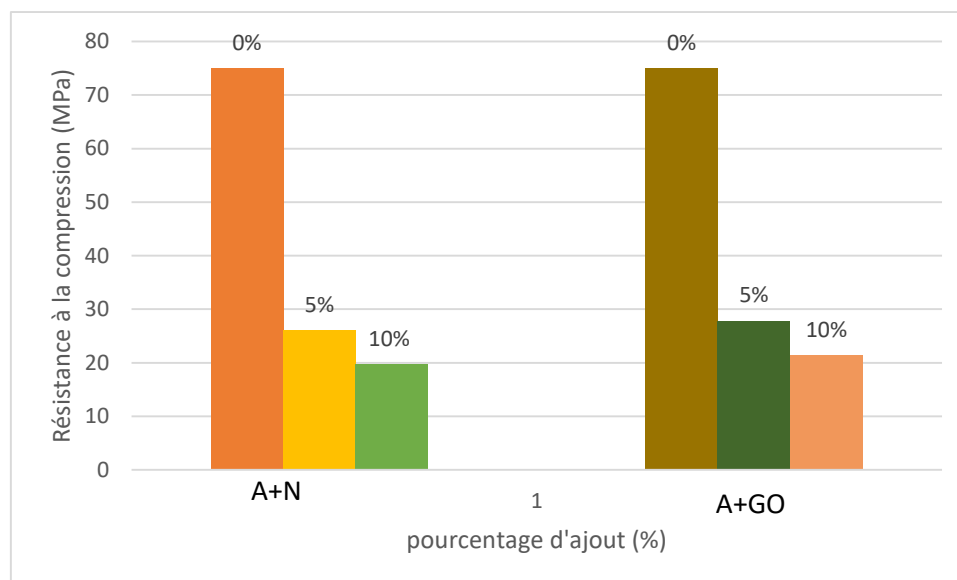


Figure III.18. Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout à une température 950°C

Les valeurs de résistance à la compression enregistrées restent tout de même dans la limite admissible donnée par les normes. (Tableau III.12)

Tableau III.12. Résistances à la compression (NA5023) et masse volumique apparente (NA5022) des produits rouges en terre cuites

	Résistance à la compression (MPa)	La masse volumique apparente (Kg/cm^3)
Brique pleines ou perforée	10 à 40	1,6 à 1,8

III.3.2.2 Conductivité thermique

C'est la capacité d'un matériau de laisser la chaleur à travers son épaisseur en régime permanent. La conductivité thermique λ d'un corps homogène et isotrope représente la densité du flux de chaleur de 1 Watt le traversant pour une différence ΔT de 1°C entre les températures des deux faces séparées par un mètre d'épaisseur. λ s'exprime, compte tenu de sa définition en $W/m^{\circ}C$.

Plus la conductivité thermique λ d'un matériau est grande, plus le matériau laisse traverser la chaleur donc il est un bon conducteur de la chaleur et vice versa, plus le λ d'un matériau est faible plus le corps s'oppose au transfert de chaleur donc il est un bon isolant.

Plusieurs facteurs ont une influence sur la conductivité thermique :

- Les propriétés thermiques de la matière : les matières cristallines sont des meilleurs conducteurs de chaleur contrairement aux matières amorphes (vitreuses ou macromoléculaires).
- La porosité de la matière : la chaleur est mieux conduite par la matière pure que l'air. la conductivité thermique de l'air immobile est très faible. Elle est de l'ordre de $0.024W/m^{\circ}C$. C'est pourquoi la porosité et la masse volumique ont une relation avec le coefficient de conductivité thermique.
- Le type des pores : λ des matières à pores fermés est inférieure à celle des matières à pores ouverts et communicants. Les pores communicants favorisent un mouvement d'air entraînant le transfert de chaleur. En outre, λ est influencée par le diamètre des pores. Plus le diamètre des pores est grand, plus la convection dans les pores croit et plus λ augmente.
- La température et l'humidité relative.

Le Tableau III.13 donne les valeurs de la conductivité thermique de quelques substances.

Tableau III.13. Conductivité thermique de quelque substance

substances	λ ($W/m^{\circ}C$)
Gaz à la pression atmosphérique	0.006-0.15
Matériaux solides isolants (laines de verre, polystyrène, liège, amiante....)	0.025-0.15
Liquide non métalliques	0.075-0.6
Matériaux non métalliques (briques, pierre à bâtir ;béton...)	0.1-2.2
Métaux liquides	7.5-65
Alliages métalliques	12-100
Métaux purs	45-365

III.3.2.2.1 Méthode de mesure de la conductivité thermique

Le dispositif utilisé pour déterminer les valeurs du coefficient de conductivité thermique est la méthode du fil chaud. L'appareillage utilisé est le CT-mètre.

La méthode du fil chaud permet d'estimer la conductivité thermique d'un matériau à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif. La sonde, constituée du fil résistif et de thermocouple dans un support isolant en Kapton, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser (figure III.19).

Le CT-mètre est un appareil aisément transportable, il a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques thermiques de certains matériaux, tels que : les roches, les liquides, les substances en poudre, le béton cellulaire, les résines ou produits complexes.

Le principe de fonctionnement, consiste, grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associé dans le même sonde), à mesurer l'élévation de température subie par le capture, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée.



Figure III.19. Essai au CT-mètre.

✚ Résultats et interprétations

Les résultats de la mesure de la conductivité thermique et la chaleur spécifique des briquettes de (CGO) et (CN) cuites à une température de 950°C ont consigné dans le tableau III.14.

Tableau III.14. Résultat de la mesure de la conductivité thermique et la chaleur spécifique

(%) d'ajout	Conductivité thermique λ (W/m.K)
0%(A)	0.71
5%(CN)	0.49
10%(CN)	0.401
5%(CGO)	0.421
10% (CGO)	0.315

Le but principal de cette caractérisation thermique est d'étudier l'impact des ajouts (CGO,CN) sur la conductivité thermique de tesson, et par conséquent sur l'amélioration de la résistance thermique des briques.

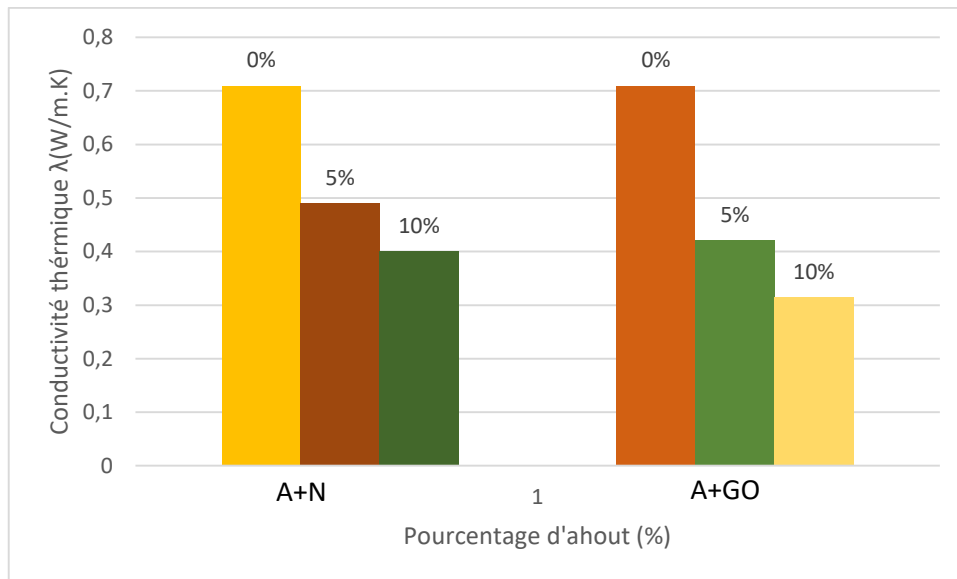


Figure III.20. Conductivité thermique en fonction du pourcentage d'ajout.

Si nous comparons par rapport au pourcentage de l'ajout (voir la figure III.20), nous constatons que la conductivité thermique diminue en fonction du pourcentage d'ajout. Plus ce dernier est grand ; moins est la conductivité thermique. La raison principale de cela est la combustion des résidus organiques. Ces derniers brûlent et laissent des petits pores favorables à l'amélioration de l'isolation.

III.4. Conclusion

Ce chapitre a pour but d'étudier les effets d'utilisation de deux ajouts organiques : CGO, CN sur les caractéristiques physico-mécanique et thermique de la brique de terre cuite.

La méthodologie utilisée dans ce chapitre est fondée sur l'optimisation des performances thermique des briques. A partir de meilleurs résultats de deux paramètres plus importants étudiés (résistance mécanique et la conductivité thermique) nous allons combiner les deux pour obtenir un produit de performance souhaité.

Le processus de la fabrication des briques est assez long depuis sa confection jusqu'à sa cuisson, il dure pratiquement une semaine (3 jour pour le séchage à l'air libre), trois jours de séchage dans l'étuve et une journée pour la cuisson. Cette partie du travail et la plus délicate de toute cette étude.

Dans cette partie nous avons obtenu des produits avec une multitude de pores dans leur structure. En fonction de ces pores il est possible de commenté les propriétés du matériau comme : masse volumique, absorption d'eau, résistance à la compression et conductivité thermique en conséquence ont conclus :

- La perte en poids au séchage et proportionnelle aux pourcentage d'ajout.
- Une augmentation proportionnelle entre le pourcentage d'ajout et la perte au feu ces derniers brûlent et laissent des vides.
- Le retrait au séchage et la cuisson sont aussi proportionnels au pourcentage d'ajout.
- La masse volumique diminue avec l'augmentation de pourcentage d'ajout et sa conductivité thermique est en fonction de sa masse volumique.
- La résistance à la compression diminuée et dépassé légèrement la limites des normes.
- Les produits obtenus avec ajout pourront bien être de bons isolant thermique.

- La porosité élevée est une propriété recherchée aujourd'hui dans le souhait d'économiser l'énergie.

CONCLUSION GENERALE

Les déchets constituent un vrai problème mondial à cause des effets néfastes qu'ils peuvent engendrer sur l'écosystème. En effet, les déchets représentent l'un des dangers les plus graves pour l'environnement surtout par la pollution de l'eau, du sol et de l'air, ce qui impose leur bonne gestion.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent mémoire. Le but principal de cette recherche est l'étude de l'influence de l'ajout de farines de coque du grignon d'olive et de noix sur les caractéristiques physico-mécanique et thermique de la brique cuite à une température de 950°C.

Au cours du processus de cuisson, ces éléments végétaux se consomment, laissant ainsi des pores dans la structure du matériau final.

L'analyse des résultats expérimentaux a permis de conclure les points suivants:

- L'argile utilisée correspond à une argile très plastique ($I_c = 1.06$), il est supérieur à 1. avec un indice de plasticité, la limite de plasticité et de liquidité de 18,06%, 23.50% et 41.56% respectivement. Elle est composée d'un pourcentage élevée de silice (54.29%), environs 20.98% d'alumine et les oxyde de (Ca, Fe, Mg, K, Na) sont de 1.31%, 10.30%, 2.58% , 3.37, 0.77% respectivement.
- L'analyse granulométrique de la matière argileuse a révélé qu'elle est contient une quantité assez importante de particules fines (particules passant à travers du tamis de 0.08mm). La valeur est de 87% de la masse totale.
- La courbe ATD de l'argile présente un pic endothermique observé entre 0°C et 230°C qui représente l'élimination de l'eau adsorbée et l'humidité. Et un autre entre 200°C et 950°C présentant la déshydroxylation des phyllosilicates.
- Les résidus organiques utilisés contiennent une grande quantité de fibres (cellulose, lignine et hémicellulose). Ces fibres soutiennent la pâte d'argile durant le séchage et empêchent d'éventuelles déformations.
- L'ajout des résidus organiques au mélange d'argile augmente la teneur en eau exigée pour le façonnage.
- Le retrait au séchage des échantillons a augmenté avec l'ajout des matières organiques, mais il reste toujours dans la limite des normes.
- L'ajout de matières organiques qui se consomment lors de la cuisson réduit la densité de la brique. En conséquence, les briques deviennent plus légères, ce qui contribue à réduire la

CONCLUSION GENERALE

charge morte des bâtiments. L'utilisation de briques légères permet de réduire les frais de transport et les coûts de construction des murs.

- La résistance à la compression des échantillons cuits a diminué avec l'addition des résidus. Néanmoins, les valeurs sont encore supérieures que celles exigées par les normes algériennes.
- L'ajout de matières organiques qui se consomment lors de la cuisson crée des pores dans le matériau final. La présence de pores offre l'avantage de réduire la conductivité thermique, ce qui améliore le caractère isolant du matériau et permet des économies d'énergie.

En résumé de ce qui vient d'être cité, la création de pores dans la structure des briques par l'ajout de matières végétales (qui se consomment lors de la cuisson), améliore la capacité d'isolation thermique, tout en réduisant sa résistance à la compression. Il est néanmoins possible d'assurer un compromis entre la résistance à la compression et la conductivité thermique pour l'obtention d'un matériau ayant une fonction isolante et une fonction structurelle.

D'un côté, la résistance à la compression a chuté de 65.26% et 73.77% pour les échantillons avec ajout de 5% et 10% de CN. Tout comme pour les échantillons avec ajout de 5% et 10% de CGO, avec des pourcentages de réduction de 62.84% et 71.41% respectivement.

D'un autre côté pour les mêmes échantillons, une amélioration d'isolation thermique a été constatée. L'amélioration est de 30.98%, 43.52%, 40.84% et 55.63% pour les 5% (CN), 10% (CN), 5% (CGO) et 10% (CGN) respectivement.

Afin de tirer des conclusions encore plus précises, il serait intéressant en guise de perspectives:

- D'effectuer des analyses au microscope électronique à balayage (MEB) pour déterminer exhaustivement la nature des pores (ouverts ou fermés). Il permet de fournir rapidement des informations sur la morphologie du matériau.
- De traiter l'ajout pour diminuer son effet absorbant dû à la grande quantité de cellulose (matière prédominante des composants organiques).
- D'évaluer la résistance acoustique car la présence des pores favorise l'absorption des sons et améliore probablement cette caractéristique.

CONCLUSION GENERALE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1]: EL Yakoubi,N,Aberkane & Ouadia,M,(2006) : potentialité d'utilisation d'argile dans l'industrie céramique.
- [2] :A.Ait MOKHTAR .''Mise en point d'essais de laboratoire pour la caractérisation et l'étude de l'extrudabilité de pate argileuse. (Thèse doctorat. INSA de Rennes 1993.
- [3] : J _picoche ''dictionnaire étymologique du français. éditions, les usuels du robert 1984
- [4] : N.Fagel '' géologie des argiles université de liège.
- [5]: S.Arezki, « Etude et caractérisation thermos-physique et mécanique des matériaux allégés : cas de la brique à base d'argile pauvre en chaux allégée avec l'ajout du grignons d'olive. » Université de Bejaïa ,2016/2017, p-39.
- [6]: T.KARTA. "Frittage à basse température d'une argile kaolinitique de Burkina Faso. Transformations thermiques et réorganisations structurales". Thèse de doctorat de l'universités de Limoges et de Ouagadougou, 2003.
- [7] : Clay Minerals: A Guide to Their X-ray Identification" de R. E. Grim, "Introduction to Clay Minerals: Chemistry, Origins, Uses and Environmental Significance" de Bruce Velde, et "Clays and Clay Minerals" de Joseph W. Stucki.
- [8]: Wimpenny,J,colla,c, a,yin ,Q,Z, Rustad,J, R & Casey . W ,H ,(2014) Investigation the behavior of mg isotopes during the formation of clay minerals.
- [9]: www.normalesup.org/~clanglois/Sciences_Terre/Argiles/Argiles0.html
- [10]: Zhang, Y., Huang, X., & Wang, X. (2021). Adsorption of heavy metals from aqueous solution by modified clay: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 405, 124002.
- [11]: Wang, Y., Huang, B., Zhang, W., & Li, J. (2020). Swelling characteristics and damage mechanism of expansive soils under cyclic wetting and drying. *Engineering Geology*, 277, 105807.
- [12]: GU, J., Wang, J., Wang, S., Chen, W., & Liu, X. (2022). The reinforcement effect of modified clay nanoparticles on epoxy composites: A comprehensive study. *Applied Clay Science*, 223, 106446.
- [13]: Zhu, H., Wang, J., Wu, Y., Wu, X., & Lu, X. (2021). High sensitivity gas sensor based on modified clay/PPy composite films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 329, 129219.
- [14]: Liu, H., Zhou, Q., Han, R., Xu, J., & Zhao, Y. (2020). Effects of modified montmorillonite on the growth and quality of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Soils and Sediments*, 20(11), 3634-3643.
- [15]: MICHOT L.J., VILLIERAS F, «Surface Area and porosity», Chapter 2.10 in Handbook

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

of Clay Science, Ed Elsevier, volume 5B (2013).

[16] : MEZITI CHAFIKA « Mise en valeur d'un déchet provenant d'une raffinerie d'huile alimentaire » thèse 2016

[17] : Caillère, S., S. Hénin and M. Rautureau, « Minéralogie des argiles » Masson, Tomes 1 et 2, 184p et 189p (1982).

[18] : cours Mat-inno (chapitre 2 : valorisations des matériaux)

[19] : Battesti, V.(2006) de l'habitation aux pieds d'argile. Les vicissitudes des matériaux et technique de construction à Siwa (EGYPT) journal des africanistes.

[20] : Sandrine Banessy et Jean-Jacques Germain, La brique, l'or rouge du Midi Toulousain, Tourisme Médias Éditions, juin 2004, (ISBN 2-915188-04-1), p. 12-13

[21] : Briquematériau, Wikipédia([https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_\(mat%C3%A9riau\)#cite_note-fermeture_Wanlin-9](https://fr.wikipedia.org/wiki/Brique_(mat%C3%A9riau)#cite_note-fermeture_Wanlin-9))

[22] : La briqueterie de Virebent, Mairie de Launaguet. Consulter le 30/09/2007

[23] : AVLISET I., « Matériaux de terre cuite » Technique de l'ingénieur, 1994

[24] : L.DUFOURNI. Terre cuite et construction. Revue trimestrielle n° 105, éditée par la Fédération Belge de la brique , 2003.

[25] : G.PEIRS. "La brique ; fabrication et traditions constructives". Editions, Groupe Eyrolles, 2005.

[26] : Sandrine Banessy et Jean-Jacques Germain, La brique, l'or rouge du Midi Toulousain,

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

[28] : Collection mémento technique « Tuiles et briques de terre cuite » édition le moniteur, Paris 1998

[29] : Matériaux de construction « Cours en ligne matériaux de construction », « www.la.refer.org ».

[30] : CRA Terre EAG « Bloc de terre comprimée volume I » Manuel de production

[31] : DJOUHRI M., « Confection d'une brique a base de sable de dune » mémoire magister, Université de Ouargla, 2007

[32] : Fédération Belge De La Brique « La brique de terre cuite », Juin 2006

[33] : QUELS SONT LES DIFFÉRENTS TYPES DE BRIQUES ? <https://www.guideartisan.fr/actualites/macon/les-differents-types-de-briques>

[34] : Types of Bricks – Detail Classification of Bricks <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/brick/191-types-of-bricks>

[35] : GIOVANNI P., « La brique fabrication et tradition constructives », édition EYROLLES,

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Octobre 2004.

[36] : L. ALVISSET. "Matériaux de terre cuite". Ingénieur de l'école nationale supérieure de céramique industrielle de Sèvres. Docteur de l'université. Directeur technique du centre technique des tuiles et des briques.

[37] : Harichène ,K, Ghirici, M Belbbaci,A et meknaci, A (2009) effet de la chaux et de pouzzolane naturelle sur le comportement de la plasticité des sols argileux.Séminaire internationale institue supérieur des études technologiques de Sfax, Tunisie.

[38] : www.fao.org (Nombreux auteurs), " Utilisation des sous-produits dans l'olivier en alimentation animale dans le bassin méditerranéen". 2005-2006

[39] : R. LOUSSERT et G. BROUSSE" L'olivier" Ed. Maisonneuve et Larose paris 1978

[40] : https://www.smpctn.com/Fr/l-extraction-de-l-argile_47_53

[41] : P. KARLSON, " Biochimie ",2ème Edition, 1971

[42] : J. RODIER, " L'analyse de l'eau ". 8ème Edition Dumond, Paris, France, 1996

[43] : A. NEFZAOUI." Valorisation des grignons d'olives en alimentation animale". Laboratoire Nutrition Animale (INRA), Tunisie, 1996

[44] : A. NEFZAOUI." Valorisation des sous-produit de l'olivier. Option méditerranéennes. Série séminaires, 1991

Structure		Feuille d'essai de laboratoire		Document de référence NF P 94-057	
Dossier N°:		SOLS : Analyse granulométrique		version : Mai 1992	
Echantillon N°:					
Mode de prélèvement: Ech intact		Ech Remanié		Ech reconstitué	
Provenance /projet :				Date de prélèvement:	
Sondage N° :		Profondeur:		Température de la salle d'essai : °C	
Mv particules solides: $\rho_s =$ t/m ³ mesurée		conventionnelle		Densimètre : H ₀ = cm H ₁ = cm h ₁ = cm V _d = cm ³	
Facteurs correcteurs: C _m =		C _d =		Section de l'éprouvette : A = cm ²	

Expression des résultats

Temps de lecture			R	Température	C _t	P%	P%	D
h	min	s	Lecture densimètre	(°C)	Correction température	Sur tamis à 80µ	Sur tamis à 50 mm	(µm)
10:00h	-	30	1022	19,5	0,0000	85,49	85,49	72,52
-	1	-	10215	19,5	0,0000	83,51	83,51	51,53
-	2	-	10205	19,2	-0,0002	78,76	78,76	36,32
-	5	-	1019	19,2	-0,0002	72,83	72,83	23,16
-	10	-	10175	19,3	-0,0002	66,89	66,89	16,59
-	20	-	1016	19,3	-0,0002	60,93	60,93	11,96
-	40	-	1014	19,3	-0,0002	53,04	53,04	8,57
-	80	-	1013	19,8	0,0000	43,93	43,93	6,15
4	-	-	1009	20,3	0,0000	34,04	34,04	3,60
24	-	-	1005	19,5	0,0000	18,21	18,21	1,53

Mode opératoire

Préparation de la prise d'essai :

- 1) Recueillir le tamisât à 80µm préparé avec son eau de lavage dans un bac
- 2) mettre à décanter
- 3) siphonner l'eau d'un bac une fois de venue claire sans entraîner d'éléments fins et mettre à sécher dans une étuve
- 4) prélever une prise d'essai de 80±10g sur le tamisât séché et désagrégé avec le pilon dans le mortier et homogénéiser
- 5) introduire la prise d'essai dans le récipient utilisé
- 6) ajouter 500 cm³ du mélange : 440 cm³ Eau distillée ou déminéralisée + 60 cm³ déflocculant [solution à 5% d'hexamétha phosphate de sodium (Na₆(PO₃)₆ 10H₂O)] et laisser imbiber pendant au moins 15 heures à la température ambiante
- 7) disperser la prise d'essai dans la solution d'eau et de déflocculant au moyen de l'agitateur mécanique pendant 3 min à 10000 tr/min au moins

Exécution de l'essai :

- 1) verser la suspension dispersée dans une éprouvette d'essai immédiatement après la fin de l'agitation mécanique
- 2) rincer le récipient ainsi que les palettes de l'agitateur avec de l'eau distillée ou déminéralisée
- 3) recueillir le liquide de rinçage dans l'éprouvette afin d'éviter de perdre une partie de l'échantillon de sol lors du transfert
- 4) compléter par de l'eau distillée ou déminéralisée à la température ambiante jusqu'à 2000 cm³
- 5) verser 2000 cm³ d'eau distillée ou déminéralisée dans une seconde éprouvette témoins et y plonger le thermomètre et le densimètre parfaitement propre
- 6) agiter vigoureusement verticalement la suspension au moyen de l'agitateur manuel pour obtenir une concentration uniforme sur toute la hauteur de l'éprouvette puis retirer l'agitateur manuel et déclencher au même moment le chronomètre
- 7) plonger le densimètre avec précaution dans la suspension immédiatement après le déclenchement du chronomètre
- 8) faire les lectures depuis le début de l'essai aux temps suivants en minutes : 0,5 - 1 - 2 - 5 - 10 - 20 - 40 - 80 - 240 - 1440
- 9) noter à chaque lecture au sommet du ménisque la densité de la solution à 0.0001 près et la température de l'eau se trouvant dans l'éprouvette témoin à 0.1 °C
- 10) procéder aux 3 premières lectures sans retirer le densimètre de la solution
- 11) à partir de la 3^{ème} lecture retirer le densimètre de la solution après chaque mesure le nettoyer puis le plonger dans l'éprouvette d'eau distillée ou déminéralisée
- 12) à partir de la 4^{ème} lecture (t=5min) plonger le densimètre avec précaution dans la solution au minimum 30s avant la mesure.

Equipements

Etuve	N° identification	Balance	N° identification	Densimètre	
Agitateur	N° identification	Thermomètre	N° identification	chronomètre	N° identification
Observation:		Chargé d'essai Nom et Prénom Signature		Responsable Nom et Prénom Signature	