

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Mémoire de fin d'études

Présenté par :

Mr. MIDOUN Sami

Mr. ABBAS Mohamed Amine

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**Production et caractérisation de briques contenant des coquilles
de noix de cajou broyée**

Devant le jury composé de :

Mr. AIT TAHAR K.	Professeur	Université de Bouira	Président
Mr. MOUSSAOUI F.	MCB	Université de Bouira	Encadrant
Mr. DJAFRI GH.	Docteur	Université de Bejaia	Co-encadrant
Mr. HAMI B.	MCB	Université de Bouira	Examineur

Année Universitaire 2022-2023

Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH qui nous a donné la volonté et le courage de faire ce travail, en espérant qu'il sera utile de porter quelque chose à la science.

Nous exprimons notre sincère gratitude envers notre promoteur, en particulier Monsieur MOUSSAOUI Fahem, maître de conférences à l'université de Bouira. Nous tenons à le remercier chaleureusement pour sa patience exemplaire, ses remarques constructives et ses précieux conseils.

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à notre co-promoteur, Docteur DJAAFERI Abdelghani de l'université de Béjaia, pour son soutien scientifique précieux et ses encouragements constants qui ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers le Gèrent de la SARL Briqueterie Akbou ainsi que tout le personnel technique qui nous ont généreusement soutenus et accueillis au sein de leur organisation. Leur aide précieuse a grandement contribué à la réussite de notre projet.

On voudrait également remercier infiniment les membres du jury, d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et pour toutes leurs remarques et critiques.

Nos sincères remerciements et gratitudes à tous les enseignants du département de Génie Civil.

Merci !

Dédicaces

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui me sont chères

- A ma chère maman **Saliha**, et mon cher père **Ahcene**, Aucune dédicace ne peut véritablement exprimer l'intensité de mon amour, mon respect et reconnaissance. Votre patience infinie, votre compréhension et votre soutien constant ont été pour moi des piliers indispensables. Je vous suis redevable de ce que je suis aujourd'hui et de ce que je serai demain. Je m'efforcerai toujours d'être une source de fierté pour vous. Que Dieu, le tout-puissant, vous protège, vous accorde la santé, le bonheur et vous préserve de tout mal.
- A mon cher frère **RIAD** pour tant d'amour, tendresse, patience et pour leur soutien infini, je te souhaite une vie pleine de réussite et bonheur.
- A tous les membres de ma famille, grands et petits.

MIDOUN Sami

Je dédie ce travail à

- A mes chers parents **M. ABBAS Hocine & M^{me} ABBAS Bekhi**, vous êtes le symbole de la bonté par excellence, une source de tendresse et un exemple de dévouement qui m'a constamment encouragé. Aucune dédicace ne pourrait suffisamment exprimer la reconnaissance que vous méritez pour tous les sacrifices que vous avez faits pour moi. Que DIEU, le tout-puissant, veille sur vous et vous accorde une bonne santé, une longue vie et un bonheur constant.
- A ceux qui rendent ma vie aussi belle, mes chères sœurs et ma chère **Feriel**, je vous souhaite une vie pleine de réussite, santé, bonheur.
- A ma chère **Melissa** qui n'a jamais cessé de me soutenir, notamment dans les moments difficiles, elle me disait « Nothing is impossible, nothing », merci pour ta patience et ta confiance en moi envers et contre tout.

ABBAS Mohamed Amine

Table des matières

Sommaire

Remerciements	i
Dédicaces.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des abréviations.....	viii
Trois résumés.....	ix

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Synthèse bibliographique - Etat actuel des connaissances sur le sujet

I.1	Introduction	3
I.2	Industrie de la terre cuite en Algérie	3
I.3	Généralités sur les matières premières utilisées dans le cadre de l'étude	5
	I.3.1 Les argiles.....	5
	I.3.1.1 Types d'argile	6
	I.3.2 La brique.....	7
	I.3.2.1 Historique de la brique en terre cuite.....	7
	I.3.2.2 Définition de la brique en terre cuite	8
	I.3.2.3 Types de briques	8
	I.3.2.4 Mode de fabrication	10
	I.3.2.5 Transformation physico-chimiques et minéralogiques au cours de la cuisson.....	16
	I.3.2.6 Spécification de la brique en terre cuite.....	16
	I.3.3 La noix de cajou.....	18
	I.3.3.1 Production de la noix de cajou dans le monde.....	18
	I.3.3.2 Valorisation de la coque de noix de cajou broyée dans les matériaux de construction.....	19
I.4	Conclusion.....	21

Chapitre II : Caractérisation et classification de la matière première

II.1	Introduction	22
II.2	Caractérisation et classification de l'argile.....	22

II.2.1 Description, origine et échantillonnage	22
II.2.1.1 Situation géographique du gisement	22
II.2.2 Caractérisation physico-chimique de l'argile.....	23
II.2.2.1 Analyse granulométrique	23
II.2.2.2 Limites d'Atterberg.....	25
II.2.2.3 Classification des différents échantillons.....	27
II.2.2.4 Composition Chimique	29
II.2.2.5 Composition minéralogique	30
II.3 Caractérisation et classification de coquille de noix de cajou broyé (CNCB)	33
II.3.1 Caractéristiques physiques (morphologie)	33
II.3.2 Composition chimique.....	33
II.3.3 Les analyses thermogravimétriques (ATG).....	34
II.4 Conclusion.....	35

Chapitre III : Confection des éprouvettes et méthodes expérimentales

III.1 Introduction	36
III.2 Confection des éprouvettes.....	36
III.2.1 Principe	36
III.2.2 Matériel utilisé	36
III.2.3 Mode opératoire	36
III.3 Résistance mécanique.....	38
III.3.1 La résistance à la flexion.....	38
III.3.2 La résistance à la compression.....	39
III.4 Les pertes en poids et retrait longitudinal de séchage	39
III.5 La conductivité thermique.....	40
III.6 Analyse de la porosité apparente	41
III.7 Masse volumique apparente	41
III.8 Absorption d'eau	42

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1 Introduction	43
IV.2 Résultat de la résistance à flexion	43
IV.3 Résultat de la résistance à la compression.....	44
IV.4 Résultat des pertes en poids et retrait longitudinal de séchage	45
IV.5 Résultat La conductivité thermique.....	46
IV.6 Résultat de la porosité apparente	47
IV.7 Résultat de La masse volumique apparente des briques	48

IV.8 Résultat d'absorption d'eau	49
IV.9 Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51
Références bibliographiques	53

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1: Brique de 12 trous et 8 trous	4
Figure I-2: Quelques industries de la brique en terre cuite en Algérie.....	4
Figure I-3: Tuiles romaine et marseillaise.....	5
Figure I-4: Objet traditionnelle Kabyle en terre cuite	5
Figure I-5: Quelques types d'argile	6
Figure I-6 : Brique pleine	9
Figure I-7: Brique perforée	9
Figure I-8 : Bloc perforé.....	9
Figure I-9 : Brique creuse de terre cuite Type C.....	10
Figure I-10 : Brique creuse de terre cuite Type RJ	10
Figure I-11 : Briques creuses à perforation verticales.....	10
Figure I-12 : processus de fabrication de brique en terre cuite	11
Figure I-13 : Gisement d'argile.....	11
Figure I-14 : Dosage et broyage d'argile	12
Figure I-15 : Les box de stockage d'argile pour fermentation.....	13
Figure I-16 : Le façonnage de la brique en terre cuite.	13
Figure I-17 : Etape de séchage	14
Figure I-18 : Etape de cuisson.....	14
Figure I-19 : A gauche l'entrée des briques dans le four et à droite la sortie des briques après la cuisson.	15
Figure I-20 : Emballage de la brique.....	15
Figure I-21 : Stockage de la brique.	15
Figure I-22 la noix de cajou	18
Figure I-23 : Production de pommes de cajou dans le monde Source (FAOSTAT, 2014).....	19
Figure I-24 Décharge de coque de noix de cajou	19
Figure I-25 la coque de noix de cajou	20
Figure I-26. Baume de coque de noix de cajou ou CNSL.....	20
Figure I-27 coques de noix de cajou à droite et à gauche le charbon de coques de noix de cajou	21

Chapitre II

Figure II-1 : Situation géographique du gisement d'EL ADJIBA.	23
Figure II-2 : Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage.....	24
Figure II-3 : Analyse granulométrique d'argile d'EL Adjiba.	25
Figure II-4 : Appareil de Casagrande.	26
Figure II-5 : Présentation des limites d'Atterberg.....	26

Figure II-6 : Classification des sols fins sur le triangle de Taylor.	27
Figure II-7 : Abaques de CAZAGRANDE.	29
Figure II-8 : Schéma de principe d'un spectromètre (Spectrofluorescence X).	29
Figure II-9 : Le Coulage de la pastille à 900°C.	30
Figure II-10 : Schéma de principe de la diffraction au rayon x.	31
Figure II-11 : Image d'un DRX (Diffractomètre a Rayon X).	32
Figure II-12 : Diagramme de diffraction des rayons X de l'argile.	32
Figure II-13 : Noix de Cajou Coupe longitudinale Echelle 1/1.	33
Figure II-14 : Changement de masse Rel% de NCB en fonction de température ATG.	34

Chapitre III

Figure III-1 matériels utilisé.	36
Figure III-2 : les éprouvettes moulées sur la gauche à séchage libre et sur la droite après séchage à l'étuve.	38
Figure III-3 : les éprouvettes avant et après la cuisson.	38
Figure III-4 : L'essai de flexion.	39
Figure III-5 : L'essai de compression.	39
Figure III-6 : l'appareil qui mesure la conductivité thermique.	40
Figure III-7 : La masse volumique apparente.	42

Chapitre VI

Figure IV-1 La résistance à la flexion (MPa) en fonction de pourcentage d'ajouts (coquilles de noix de cajou broyées %).	43
Figure IV-2 La résistance à la compression (MPa) en fonction du pourcentage d'ajouts (coquilles de noix de cajou broyées %).	44
Figure IV-3 Le retrait au séchage % en fonction de pourcentage de CNCB%	45
Figure IV-4 Graphe de la perte en poids au séchage% en fonction de pourcentage d'ajout CNCB%	46
Figure IV-5 Graphe de la conductivité thermique en fonction de pourcentage d'ajout CNCB%	47
Figure IV-6 : Porosité apparente en fonction d'ajout CNCB%	48
Figure IV-7 Masse volumique apparente des briques en terre cuite en fonction de pourcentage d'ajout CNCB%	49
Figure IV-8 L'absorption d'eau% en fonction CNCB%	50

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1: Propriétés des briques en terre cuite.	16
Tableau I-2: Propriétés des briques creuses.	17
Tableau I-3 : Caractéristiques des briques.	17
Tableau I-4 : La résistance thermique des briques creuses.	17
Tableau I-5 : Propriétés des briques pleines et des briques perforées.....	17
Tableau I-6 : La résistance thermique des briques pleines et des briques perforés.	17

Chapitre II

Tableau II-1 : Classification des argiles selon Burmister :	28
Tableau II-2 : La classification des argiles selon Atterberg.	28
Tableau II-3 : Les résultats d'essai des limites d'Atterberg	28
Tableau II-4 : Composition chimique d'argile d'ADJIBA (% m).	30
Tableau II-5 : Composition chimique de NCB.	34

Chapitre III

Tableau III-1 : Les mesures de masse d'échantillon argile et NCB.	37
--	----

Chapitre VI

Tableau IV-1 Les résultats obtenus lors de l'essai de résistance à la flexion	43
Tableau IV-2 résultats de l'essai de la résistance à la compression	44
Tableau IV-3 Résultat des pertes en poids et retrait longitudinal de séchage.....	45
Tableau IV-4 Résultat de la conductivité thermique sur les éprouvettes	46
Tableau IV-5 Résultat de la porosité apparente.	47
Tableau IV-6 La masse volumique apparente de la brique.	48
Tableau IV-7 Résultat d'absorption d'eau	49

Liste des abréviations

CNCB : coquilles de noix de cajou broyée.

ATG : Analyse thermique gravimétrique.

DRX : Diffraction aux rayons X.

PS : Perte en poids au séchage.

RS : Retrait au séchage.

: Longueur à l'état frais.

: Longueur au séchage.

: Poids à l'état frais

: Poids au séchage.

Pr : Porosité.

A : Absorption.

Mapp : Masse volumique apparente

Mst : Masse saturée.

Ms : Masse sèche.

Mph : Masse par la poussée hydrostatique.

Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser l'impact de l'utilisation des coquilles de noix de cajou broyées (CNCB) sur les caractéristiques techniques (propriétés mécaniques et thermiques) de la brique en terre cuite. Les essais menés au laboratoire ont démontré que l'intégration des CNCB dans la fabrication de briques cuites était réalisable, soit comme agent de formation de pores, soit comme combustible. La CNCB présente une forte teneur en matière organique qui, lorsqu'elle brûle, génère des pores et augmente la porosité apparente des briques en terre cuite. Ceci, diminue la conductivité thermique de la brique en terre cuite. Nos résultats ont également démontré que la quantité de CNCB dans le mélange affecte la résistance à la compression de la brique en terre cuite ou une augmentation du taux de cet ajout entraîne une diminution de la résistance à la compression. Nonobstant, les valeurs observées dépassent toujours les exigences des normes algériennes.

Mots clés : Brique en terre cuite ; coquille de noix cajou ; résistance à la compression ; conductivité thermique.

Abstract

The aim of this study is to analyse the impact of using crushed cashew nut shells (CCNS) on the technical characteristics (mechanical and thermal properties) of clay bricks. Laboratory tests showed that CCNS could be incorporated into the manufacture of fired bricks, either as a pore-forming agent or as a fuel. CCNS has a high organic content which, when burnt, generates pores and increases the apparent porosity of clay bricks. This, in turn, reduces the thermal conductivity of the clay brick. Our results also showed that the amount of CCNS in the mix affects the compressive strength of the clay brick, or that an increase in the rate of this addition leads to a decrease in compressive strength. Nevertheless, the values observed always exceed the requirements of Algerian standards.

Key words: Clay brick; cashew shell; compressive resistance; thermal conductivity.

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تحليل تأثير استخدام قشور جوز الكاجو المسحوق (CNCB) على الخصائص التقنية (الخواص الميكانيكية والحرارية) للطوب الطيني. أظهرت الاختبارات التي أجريت في المختبر أن دمج CNCB في تصنيع الطوب الطيني كان ممكنًا، إما كعامل لتشكيل المسام أو كوقود. يحتوي CNCB على نسبة عالية من المواد العضوية التي، عند حرقها، تولد المسام وتزيد من المسامية الظاهرة للطوب الطيني. هذا يقلل من التوصيل الحراري للطوب الطيني. أظهرت نتائجنا أيضًا أن كمية CNCB في الخليط تؤثر على مقاومة الانضغاط للطوب الطيني أو تؤدي الزيادة في معدل هذه الإضافة إلى انخفاض مقاومة الانضغاط. على الرغم من ذلك، فإن النتائج التي تم ملاحظتها نجدها تتجاوز دائمًا متطلبات المواصفات القياسية الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: الطوب الطيني، قشور الكاجو، مقاومة الانضغاط، التوصيل الحراري.

Introduction générale

Introduction générale

L'argile est le matériau naturel le plus couramment utilisé sur terre depuis des siècles dans le domaine de construction. Divers sites archéologiques à travers le monde en témoignent. Jusqu'à aujourd'hui, on peut encore observer des constructions en terre cuite sur divers continents. Il est estimé qu'environ un tiers de la population mondiale vit dans des bâtiments construits à l'aide de briques en terre cuite.

La brique est la plus utilisée dans la construction dans le monde par ces différents types (creuse, plain), il est observé une augmentation et un développement de l'industrie de la terre cuite, ainsi qu'une croissance de la productivité des briques en terre cuite en Algérie.

La recherche de nouveaux matériaux de construction écologiques et économes en énergie est désormais une priorité et un défi crucial tant pour les pays développés que pour les pays en développement. Cette recherche vise à réduire la consommation d'énergie et à résoudre les problèmes liés à la gestion des déchets.

La production mondiale de noix de cajou a été représentée par 2,67 millions tonnes en 2014, imaginer la quantité et le volume des déchets stockés. C'est pour cela qu'on a décidé de la valoriser et l'introduire dans le domaine de construction comme ajout dans la matière première des matériaux de construction.

De nombreux articles ont été publiés par des chercheurs sur la réutilisation et la valorisation des déchets solides agro-industriels « particules végétales » comme ajout dans la brique rouge en terre cuite, cela constitue une démarche importante de développement. On trouve par exemple : graines de cerisier, les noyaux d'oliviers, la cendre des coques de riz.

L'objectif de ce travail expérimental consiste à étudier les effets d'addition et de substitution des quantités d'argile par les coquilles de noix de cajou broyées avec des taux de 5 % et 10 % 15 % 20 % sur les propriétés physicomécaniques, et thermiques de la brique en terre cuite.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le chapitre 1 : Ce chapitre se concentre sur la recherche bibliographique qui présente les concepts fondamentaux de l'histoire de la terre cuite, les différents types de briques en terre cuite et leur processus de fabrication. Il aborde également la production mondiale de noix de cajou et l'exploitation de ses coques comme déchets valorisables.

- Le chapitre 2 : Dans cette section, nous abordons les caractéristiques des matériaux étudiés, à savoir la composition chimique et minéralogique, ainsi que les propriétés physiques et thermiques de l'argile et des coquilles de noix de cajou broyées.
- Le chapitre 3 : ce chapitre est consacré à la partie pratique « La confection des éprouvettes ».
- Le chapitre 4 : ce chapitre présente les résultats obtenus et leurs discussions.

Pour finir, nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I

Synthèse bibliographique – Etat actuel des connaissances sur le sujet

I.1 Introduction

La brique a toujours été considérée comme un élément essentiel dans le domaine de l'architecture. Son processus de fabrication a connu différentes étapes de développement, passant des briques crues aux briques cuites, puis aux briques stabilisées. Grâce aux avancées technologiques actuelles, il est possible de produire une grande variété de briques avec des propriétés spécifiques adaptées à différentes utilisations (briques de verre, briques en nid d'abeille, briques monolithiques, etc.).

La terre cuite occupe une place prépondérante en tant que matériau de construction principal. Il est disponible et homologué comme matériau de construction, ses propriétés remarquables lui permettent donc d'être utilisé dans plusieurs domaines de la construction. La construction civile d'aujourd'hui s'est avérée solide.

Depuis des milliers d'années, l'homme utilise la terre en tant que matière première naturelle dans le domaine de la construction, comme la Grande Muraille de Chine, et des ksoures d'Algérie. Il a fallu très peu d'énergie pour en faire un matériau d'habitation, et il a été disponible presque instantanément, un succès encore indéniable aujourd'hui. La Terre a toujours été utilisée pour construire sur notre planète, car elle est partout. On estime que 30 % des maisons dans le monde sont en terre.

I.2 Industrie de la terre cuite en Algérie

La terre cuite est une céramique minérale acquise par la cuisson d'argile à haute température, utilisée en architecture et dans de nombreux domaines dans tous les pays du monde, elle s'adapte à l'évolution de l'architecture et de ses exigences traditionnelles et industrielles. Les propriétés des produits en argile leur permettent d'être utilisées efficacement dans diverses parties de la construction. (KORNMAN, 2009).

Sous-industrie de la fabrication de briques et de tuiles en terre cuite. Ce profil de l'industrie présente la sous-industrie de la fabrication de briques et de tuiles en terre cuite appelée « produits rouges » au sein de la sous-industrie de la fabrication de briques et de tuiles en terre cuite BMI (Building Materials Industry). Celle-ci est basée sur la Nomenclature (NAP 2000) de (ONS). (MEDERREG, 2007)

Les produits en terre cuite de couleur rouge étaient traditionnellement fabriqués à la main et cuits au bois ou au charbon de bois. Au 19^e siècle, la mécanisation de la production et l'introduction de fours modernes utilisant des sources d'énergie fossile (charbon, fuel, gaz) et/ou électrique ont entraîné une évolution significative. La technologie de fabrication s'est ensuite accélérée grâce à l'automatisation partielle ou totale du processus. De nos jours, les usines peuvent être dimensionnées pour produire une large gamme de quantités, allant de quelques tonnes par an jusqu'à plusieurs centaines de tonnes par an. (MEDERREG, 2007).

Les matières premières de ce sous-secteur sont principalement des argiles et des sables et contiennent généralement des gisements situés à proximité des installations de production. La



Figure I-3 : Tuiles romaine et marseillaise

C. La poterie traditionnelle Kabyle

La poterie traditionnelle kabyle, connue sous le nom d'Ideqqi en kabyle, remonte à près de 1000 ans avant notre ère, ce qui la rend aussi ancienne que la civilisation berbère elle-même. Cependant, sa pratique généralisée s'est développée au cours des derniers siècles. En effet, c'est à cette époque que la région de Kabylie est entrée en contact avec d'autres civilisations, notamment celles d'origine coloniale en dehors de l'Afrique du Nord (Mohdeb, 2020).



Figure I-4 : Objet traditionnelle Kabyle en terre cuite

I.3 Généralités sur les matières premières utilisées dans le cadre de l'étude

I.3.1 Les argiles

Depuis des temps immémoriaux, l'argile est l'un des matériaux les plus anciens utilisés dans la construction. Lorsqu'elle est mélangée avec de l'eau, elle se transforme en une pâte malléable, facile à mouler et à façonner. L'argile constitue la matière première essentielle de la terre cuite. Les argiles naturelles peuvent présenter une grande plasticité et des propriétés spécifiques qui peuvent rendre leur fabrication difficile. C'est pourquoi il est courant de modifier leur comportement en mélangeant différentes argiles ou en ajoutant des éléments non plastiques appelés "dégraissants" (sables quartzeux, argiles broyées, appelés "chamottes", granulés de hauts fourneaux, etc...) dans des proportions différentes, laitiers. Ses agents dégraissants

agissent pour modifier la plasticité de l'argile, lui conférant ainsi sa capacité à être façonnée. Ils facilitent également le processus de séchage et de cuisson des produits en argile (Diatta, 2016).

Les argiles, également appelées roches argileuses, sont un mélange de minéraux et d'impuretés cristallines. Elles sont souvent hydratées et ont une structure en forme de lamelles ou de fibres. On distingue différents types d'argiles, tels que les argiles sableuses, les argiles calcaires ou marnes, ainsi que les argiles bitumeuses (Bouktah, 2008). Le terme "ARGILE" englobe non seulement une formation rocheuse, mais désigne également une gamme granulométrique qui comprend des particules minérales dont le diamètre est inférieur à deux micromètres ($< 2 \mu\text{m}$). (Belaib, 2006).

Les argiles sont plus ou moins hydratées et riches en alumine et sont des roches silicatées en feuillets (phyllosilicates). Ils forment plus de 50 roches sédimentaires seules ou en combinaison avec d'autres roches. L'argile existe sous forme de particules très fines (environ $2 \mu\text{m}$). L'argile imbibée d'eau devient plastique et imperméable (NF EN 1097-3, 1998).

I.3.1.1 Types d'argile

A. Argile grésante plastique

Ces argiles sont teintées et riches en silice. Elles se distinguent également par la présence de fines particules de kaolinite, de matière organique, d'oxyde de fer et de titane.

B. Argile réfractaire

Ces argiles présentent une couleur peu prononcée. Elles sont utilisées dans des conditions de températures très élevées, car elles sont riches en alumine.

C. Argile rouge

Ces argiles sont composées de kaolinite, d'illite, de sable, de mica, d'oxydes de fer, ainsi que de constituants organiques et d'éléments riches en alcalins. (Boulouza, et al., 2019).



Figure I-5 : Quelques types d'argile

I.3.2 La brique

I.3.2.1 Historique de la brique en terre cuite

L'histoire de la brique commence avec l'utilisation de l'argile crue. En fait, l'homme a rapidement découvert qu'il était plus facile de fabriquer une maçonnerie solide en utilisant de l'argile moulée en éléments de taille uniforme appelé briques d'adobe, plutôt qu'avec des briques coupées irrégulièrement.

Les origines de la cuisson de l'argile remontent au Néolithique (entre 5800 avant JC et 2500 avant JC) et à l'avènement de la poterie. Mais attendez le 4^e millénaire avant JC que la terre cuite apparaît particulièrement dans l'architecture Moyen-Orient et mésopotamienne, comme en révéler la ziggourat d'Ur construite vers 2100 avant J.C ([Lenglin, et al., 2022](#)).

Les origines des briques remontent à 7 000 ans avant J-C7* dans la région des fleuves Tigre et Euphrate. Les premières maisons en brique ont été trouvées en IRACK, et on estime que l'utilisation de la brique en Mésopotamie se répandrait rapidement dans tout le Moyen-Orient. Son utilisation s'est répandue au 3^e millénaire, période où l'homme était sédentaire. Le besoin d'une protection durable contre les intempéries et les prédateurs oblige les humains à trouver des matériaux durs et résistants ([KAHOZI, 2014](#)).

Lors de la révolution industrielle, les briqueteries sont réorganisées pour former de véritables usines. Une poêle à charbon augmente la compétence de production. Des fours plus grands et plus performants (four Hoffmann, four Bull, etc. pour la production continue de briques). Les briqueteries se distinguent par leurs grandes cheminées en briques qui deviennent des éléments caractéristiques de ces établissements.

L'année 1830 a marqué un tournant dans l'histoire de la brique avec le dépôt d'un brevet par AUGUSTE VIREBENT pour son système de presse à briques. Cet événement a marqué le début de l'industrialisation de la production de briques ([KAHOZI, 2014](#)).

Les origines de la cuisson de l'argile remontent au Néolithique et à l'avènement de la poterie. Mais attendez le 4^e millénaire avant JC, a été récompensé pour l'émergence de la terre cuite, en particulier dans l'architecture moyen-orientale et mésopotamienne, comme en révéler la ziggourat d'Ur construite vers 2100 avant JC. Avec la mise en place de la technologie de traitement de l'émaillage, les briques en terre cuite ont été rapidement utilisées non seulement pour les maisons, mais aussi pour les palais ([Volland, 2018](#)).

Les briques ont été apportées en Europe par les Grecs et les Romains. Les Grecs utilisaient des briques en terre cuite, mais ils les recouvraient par des matériaux plus admirables, comme les parements de marbre. D'autre part, les Romains l'utilisaient principalement pour des constructions telles que des aqueducs. Néanmoins, avec le déclin de l'Empire romain, l'utilisation de la brique a progressivement diminué, à l'exception du monde byzantin où elle a continué à être largement employée.

Grâce à cette industrialisation, la production de briques a augmenté, permettant leur utilisation dans des logements collectifs, en particulier dans les habitations Bon Marché (HBM) qui ont proliféré aux abords de Paris à partir des années 1930 (Voland, 2018).

Après la deuxième Guerre mondiale, la construction en brique a perdu de son importance devant le béton le plus utilisé. Dans les années 1970, cependant, le matériau a connu une résurgence. Aujourd'hui encore, la terre cuite est utilisée dans les maisons bifamiliales (Voland, 2018).

Il est remarquable de constater que les techniques de fabrication ont connu peu de variations au fil de l'histoire.

I.3.2.2 Définition de la brique en terre cuite

Depuis des siècles, les matériaux en terre cuite ont été utilisés et ont su s'adapter aux évolutions de l'architecture ainsi qu'aux exigences des zones industrielles traditionnelles. Ils sont fabriqués à partir d'argiles qui, lors de la cuisson, prennent souvent une teinte rougeâtre (à l'exception des argiles calcaires, dont la couleur de la brique après la cuisson varie du rose au jaune et au blanc) (ALVISET, 1994).

Les briques d'argile sont des matériaux de construction préformés obtenus en chauffant une portion d'argile préformée à la bonne température appropriée. À cette température, les agrégats d'argile fusion et s'agglutinent pour former des blocs de pierre. Une fois cuites, les briques conservent une porosité qui leur confère des caractéristiques uniques, les distinguant ainsi des autres matériaux de construction (MEKHERMECHE , 2012).

Depuis des siècles, les matériaux en terre cuite sont employés, s'adaptant à l'évolution de l'architecture et aux besoins des secteurs traditionnels et industriels. Le sol utilisé pour fabriquer des briques en terre cuite est généralement constitué d'argiles. L'argile est une matière plastique brune striée de gris qui devient souvent rouge lorsqu'elle est cuite, En fonction de la température de cuisson et de la composition de l'argile utilisée. La production de terre cuite comprend plusieurs étapes distinctes (HUGO, et al., 2006).

L'utilisation de la brique est illustrée par trois monuments emblématiques :

- La structure du Colisée à Rome.
- La Grande Muraille de Chine.
- La Basilique Sainte-Sophie à Istanbul.

I.3.2.3 Types de briques

Ces produits sont des briques en terre cuite, disponibles en version pleine ou perforée, conformément à la norme XP P 13-305. Ils sont classés en trois catégories distinctes : (XP P13-305, 1998) (EASTON, et al., 1996) (WITYNSKI, et al., 2002).

A. Brique pleine

Il s'agit d'une brique sans aucuns trous, dont le format le plus couramment utilisé est de (6x11x22) cm.

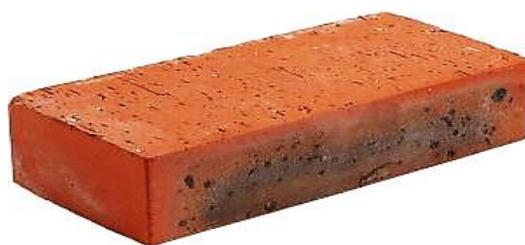


Figure I-6 : Brique pleine

B. Brique perforée

Il s'agit d'une brique qui présente des perforations perpendiculaires à la face de pose. La somme des sections des perforations est inférieure ou égale à 50 % de la section totale, et sa largeur est inférieure à 14 cm. (WITYNSKI, et al., 2002) (XP P13-305, 1998) (EASTON, et al., 1996).

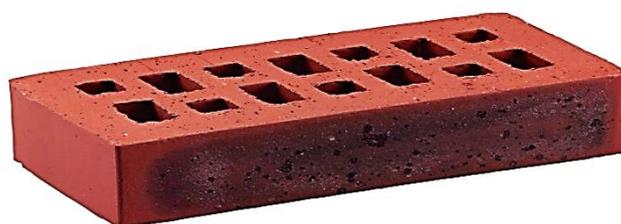


Figure I-7 : Brique perforée

C. Bloc perforé

Il existe une variété de briques de grand format qui permettent de constituer toute l'épaisseur brute du mur avec un seul élément. Ces briques présentent des perforations perpendiculaires à la face de pose, une largeur minimale de 14 cm, une hauteur inférieure ou égale à 30 cm et leur plus grande dimension ne dépasse pas 60 cm. (XP P13-305, 1998) (EASTON, et al., 1996) (WITYNSKI, et al., 2002).



Figure I-8 : Bloc perforé

D. Brique creuse à perforation horizontale (Norme NF P 13-301)

Conformément à la norme NF P 13-301, les briques creuses à perforation horizontale sont des produits qui présentent des perforations parallèles au plan de pose et dont la section totale dépasse 40 % de la section du produit. Les briques plâtrières, dont l'épaisseur varie de 3,5 à 7,5 cm, sont classées en tant que briques creuses.

Il existe deux catégories de briques creuses qui sont différenciées :

Type C : Les briques à faces de pose continue sont spécialement conçues pour être assemblées avec des joints de mortier horizontaux continus.



Figure I-9 : Brique creuse de terre cuite Type C

Type R.J : Les briques appelées "à Rupture de Joint" sont conçues pour être assemblées avec des joints de mortier horizontaux discontinus (EASTON, et al., 1996) (XP P13-305, 1998) (WITYNSKI, et al., 2002).

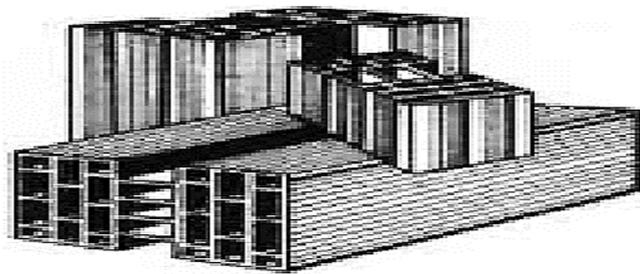


Figure I-10 : Brique creuse de terre cuite Type RJ

E. Brique de terre cuite à perforation verticale

Les briques perforées sont des produits caractérisés par des parois qui s'étendent sur toute l'épaisseur d'un élément unique et qui comportent des trous perpendiculaires à la surface de pose. Leur largeur minimale est de 14 cm et la somme des trous ne dépasse pas 60 % de la section totale. En fonction de leurs propriétés thermiques, ces blocs peuvent être classés comme des blocs réguliers ou des blocs G.

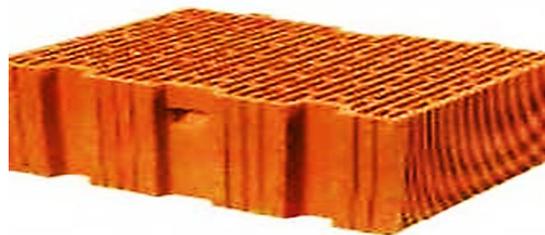


Figure I-11 : Briques creuses à perforation verticale

I.3.2.4 Mode de fabrication

La Figure I-12 résume les étapes de fabrication de la brique en terre cuite.

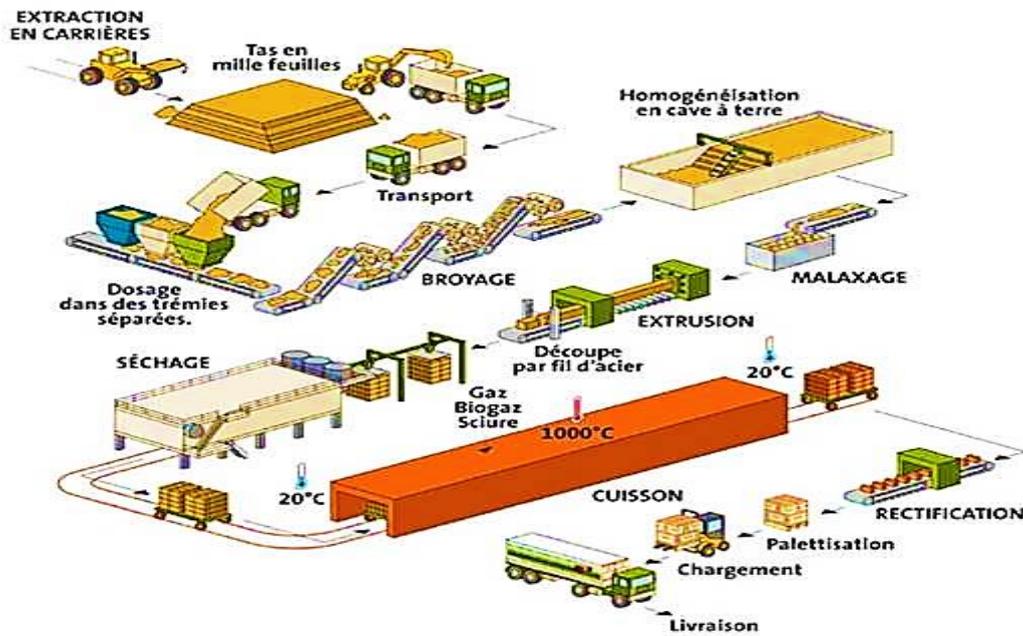


Figure 1-12 : processus de fabrication de brique en terre cuite

A. Extraction et transport de la matière première

L'extraction se fait à l'aide de différents matériaux, équipements et mécanismes : dynamites, pelles chargeuses, etc. La sélection de ces matériaux varie selon les caractéristiques de ce métier, chacun ayant ses propres caractéristiques et cette matière première extraite est acheminée vers l'usine désignée par camion, train, tapis roulant acheminée vers l'usine désignée par camion, train, tapis roulant.



Figure I-13 : Gisement d'argile

B. Préparation

L'objectif de la préparation est d'avoir une pâte parfaitement homogène, assez malléable, cohérente avec la nature du produit final et offrant des conditions optimales de façonnage, de séchage et de cuisson.

Le matériau doit être testé la qualité du produit conditionne l'avancement de cette étape. Par conséquent, il doit être nettoyé et débarrassé des grosses pierres et des corps étrangers.

Broyage et mélange des matières premières. Cette étape est réalisée pour obtenir une pâte homogène de haute qualité avec la plasticité nécessaire à la forme de la brique finie. De plus, des additifs tels que l'ardoise peuvent être ajoutés au mélange. Ces additifs doivent être broyés par étapes successives, transformés en poudre fine et mélangés à de l'eau pour obtenir une pâte (argileuse) à la plasticité souhaitée (HAKKOUM, 2015).



Figure I-14 : Dosage et broyage d'argile

L'ajout d'eau permet d'obtenir la plasticité souhaitée de la pâte. En effet, il s'agit d'une propriété qui donne à certains objets la capacité de conserver une forme acquise sans se casser ou se déformer sous l'effet d'un impact ou d'un effort. La plasticité de l'argile et, par conséquent, sa capacité à être façonnée dépendent de sa composition minérale, de la proportion de matière inerte, et de sa finesse, plus l'argile est généralement plastique, plus elle a besoin d'eau (20-30 % de matière sèche) (techniques-ingenieur).

Les matières premières et les additifs utilisés doivent être bien mélangés afin d'obtenir une pâte appropriée avec une forme et une couleur harmonieuse. Permettez à la pâte d'argile de se reposer pendant une période déterminée jusqu'à ce que le processus de fermentation soit achevé. La fermentation prend 1 à 2 jours, parfois même des semaines. Le pétrissage des matières premières a été effectué par des méthodes traditionnelles jusqu'à aujourd'hui, et il n'y a aucune différence avec les nouvelles méthodes de pétrissage. De petits granules se forment après fermentation des substances organiques ajoutées à l'argile et cette décomposition accroître la plasticité de l'argile, le but de telles manipulations étant une bonne répartition de l'humidité dans la pâte (techniques-ingenieur).



Figure 0I-15 : Les box de stockage d'argile pour fermentation

C. Le façonnage

Il existe deux méthodes principales de formation de produits terre cuite en argile : "pressage" et "l'étirage". L'application de ces dernières méthodes dépend de la forme du produit final. (JONNARD, 2015).



Figure 0I-16 : Le façonnage de la brique en terre cuite

D. Le séchage

Le séchage vise à éliminer l'humidité des briques avant la cuisson, car les briques contiennent naturellement de l'humidité après leur formation. L'eau s'évapore progressivement des pores jusqu'à ce que la brique atteigne une teneur en eau d'environ 2 %, ce qui entraîne le processus de séchage.

Le séchage se déroule dans une chambre ou un tunnel en utilisant l'air chaud provenant de la section de refroidissement du four, et il se continue à des intervalles réguliers, entre 2 à 4 jours. Un système informatique organisé et une programmation précise permettent de surveiller en permanence la température et l'humidité tout au long du processus de séchage.

L'un des programmes utilisés au niveau du briquetier de notre stage :

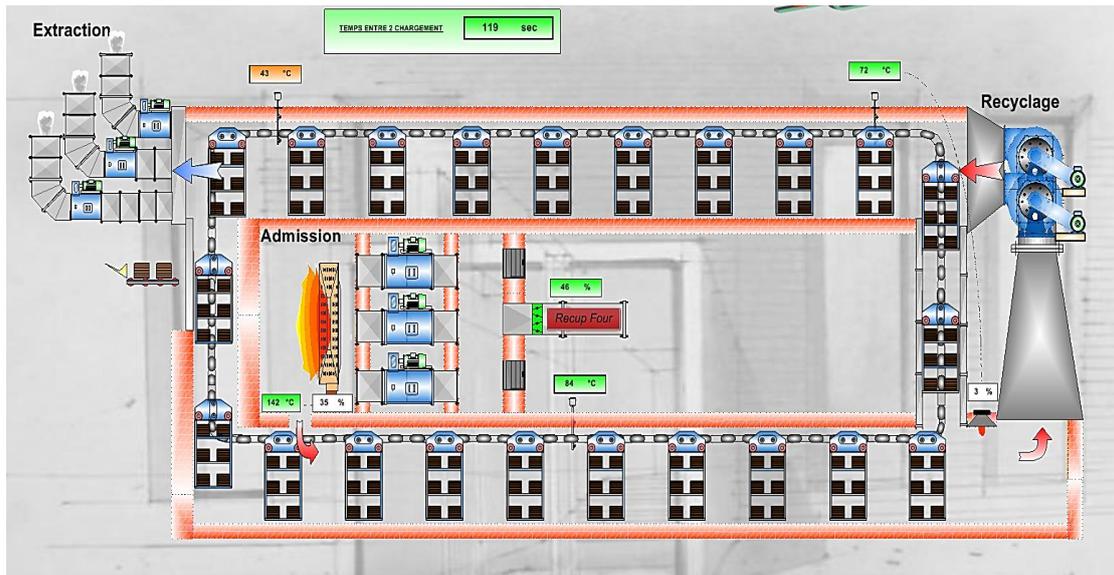


Figure I-17 : Etape de séchage

E. La cuisson

Avant de devenir une brique prête à être utilisée, c'est la dernière étape que la brique façonnée et séchée doit franchir. (JONNARD, 2015).

Deux phénomènes entraînent une modification radicale de la composition originale lors de cette étape : la destruction des minéraux argileux constituant la matière première, et la formation de nouveaux composants présentant d'excellentes propriétés et une stabilité physico-chimique solide. Le temps de cuisson total dure entre 20 et 60 heures selon les produits requis et le type d'argile utilisé (techniques-ingenieur).

L'un des programmes utilisés au niveau du briquetier de notre stage :

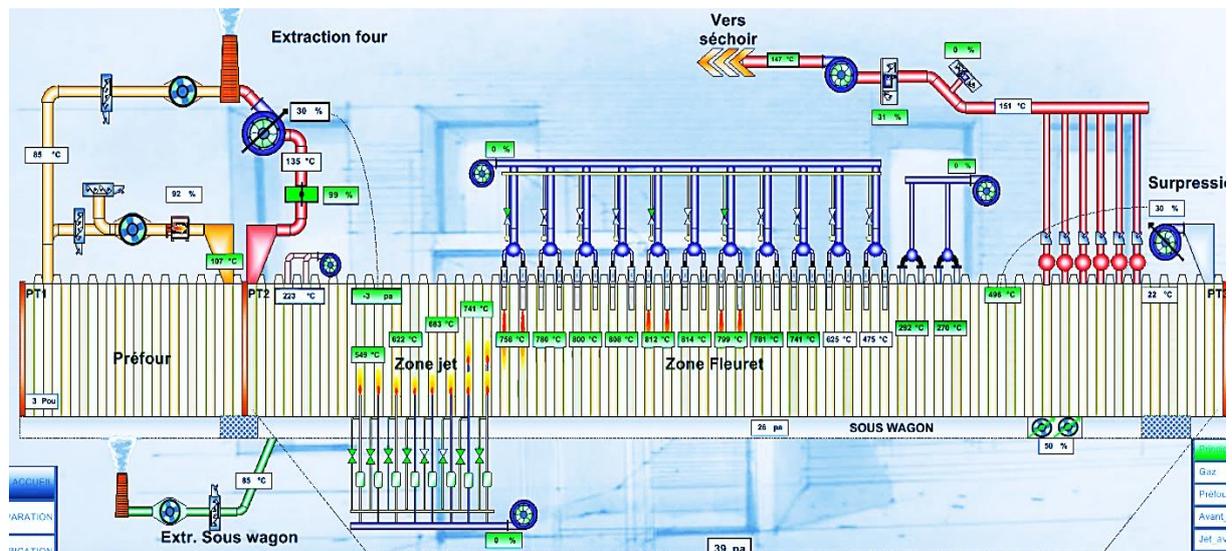


Figure I-18 : Etape de cuisson



Figure I-19 : A gauche l'entrée des briques dans le four et à droite la sorte des briques après la cuisson.

F. Stockage et emballage

Une fois les briques retirées du four, elles peuvent être transportées sur une palette à l'aide d'un chariot automatisé, enveloppées dans une pellicule plastique supplémentaire pour un transport facile, puis chargé directement sur un camion ou stocké dans le parc. Les travaux sont réalisés avec toutes les mesures de sécurité nécessaires afin de prévenir tout dommage ou perte de produits (brique, 2011).



Figure I-20 : Emballage de la brique



Figure I-21 : Stockage de la brique

I.3.2.5 Transformation physico-chimiques et minéralogiques au cours de la cuisson

Lors du processus de cuisson, divers phénomènes physiques et chimiques peuvent se produire, entraînant des modifications de la porosité, des dimensions et des propriétés mécaniques du produit final. Jusqu'à atteindre une température de 450 °C, on observe une évaporation de l'eau résiduelle du séchage ainsi que de l'eau d'hydratation. L'oxydation de la matière organique se produit lorsque l'air circule à travers les pores, entraînant sa décomposition. En absence d'un milieu oxydant, les résidus carbonés se décomposent et du carbone peut persister à l'intérieur de la céramique. Dans la plage de température de 400 à 680 °C, Certains minéraux argileux subissent une dégradation, notamment la kaolinite à 550 °C, entraînant la libération de l'eau de structure (déshydroxylation) (Cultrone, et al., 2001). À ce stade, des composés très fins et désordonnés, connus sous le nom de metakaolin, commencent à se former, ce qui entraîne un début de retrait de cuisson.

À une température de 573 °C, le quartz subit un changement de forme cristallographique. Dans la plage de température de 750 à 850 °C, le carbonate de calcium ($CaCO_3$) se décompose en oxyde de calcium (CaO), communément appelé chaux vive, avec libération de dioxyde de carbone (CO_2) (Cultrone, et al., 2001). Lorsque la température dépasse 850 °C, deux phénomènes se produisent en fonction de la minéralogie des argiles. Pour les argiles non-calcaires, un processus de frittage en présence d'une phase liquide se développe, ce qui confère aux produits finaux une structure liée par une phase vitreuse (Khalfaoui, et al., 2009). En contraste, les argiles calcaires présentent une faible formation de phase vitreuse, et la cristallisation des produits céramiques se produit principalement en phase solide (Riccardi, et al., 1999). Le CaO est éliminé et de nouvelles phases se forment, telles que les silicates de calcium et les aluminosilicates de calcium (par exemple, l'anorthite : $CaO, Al_2O_3, 2SiO_2$ et la gehlénite : $2CaO, Al_2O_3, SiO_2$).

I.3.2.6 Spécification de la brique en terre cuite

Les tableaux suivants présentent les propriétés et les caractéristiques des briques en terre cuite :

Tableau I-1 : Propriétés des briques en terre cuite (GIOVANNI, 2005)

Poids spécifique (Kg/m^3)		Environ 1800
Résistance mécanique	Compression (MPa)	De 5 à 18
	traction (MPa)	De 0 à 2
Stabilité dimensionnelle	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

Propriétés des briques creuses

Tableau I-2 : Propriétés des briques creuses (GIOVANNI, 2005)

Masse volumique (kg/m ³)	1750 – 2050
Absorption d'eau	< 15%
Isolation acoustique (dB)	41 – 58
Résistance à la compression R C (MPa)	4 – 8

Résistance des briques creuses

Tableau I-3 : Caractéristiques des briques (GIOVANNI, 2005)

Type	Dimension (cm)	masse (kg)	RC (MPa)
5 alvéoles	05 x 30 x 20	2,0	4
8 alvéoles	10 x 30 x 20	3,8	5
12 alvéoles	15 x 30 x 20	5,8	4

Résistance thermique de briques creuses

Tableau I-4 : La résistance thermique des briques creuses (ALVISET, 1994)

E : épaisseur	5	10	20	25
R (m ² . °C/W)	0,10	0,20	0,39	0,55

Propriétés des briques pleines et briques perforées

Tableau I-5 : Propriétés des briques pleines et des briques perforées (ALVISET, 1994)

Masse volumique (kg/m ³)	1650 – 2000
Absorption d'eau	30 – 80%
Isolation acoustique (dB)	41 – 54
Résistance à la compression RC (MPa)	12,5 – 40

Résistance thermique des briques pleines et perforées

Tableau I-6 : La résistance thermique des briques pleines et des briques perforés (Graham, 2001)

Pleines		Perforés	
Epaisseur (cm)	R (m ² .°C/W)	Epaisseur (cm)	R (m ² .°C/W)
5,5	0,05	20	0,52
10,5	0,09	30	1,00

22	0,20	35	1,21
----	------	----	------

I.3.3 La noix de cajou

I.3.3.1 Production de la noix de cajou dans le monde

La production de la noix de cajou dit l'anacarde est un secteur émergent en Afrique et développé en forte croissance depuis 1970 par l'encouragement de la demande mondiale et l'insuffisance productrice des autres pays.



Figure I-22 : La noix de cajou

En 2011, la part de la production mondiale de noix de cajou provenant de l'Afrique s'élevait à 40%. Les principales contributions au marché mondial provenaient de l'Inde, du Vietnam et du Brésil, ainsi que de la Côte d'Ivoire, qui occupait la deuxième place mondiale avec 385 000 tonnes en 2011. Les experts de l'Africain Cajou Alliance prévoient une augmentation continue de la production mondiale, avec une croissance estimée à 34% entre 2010 et 2020. Ces hypothèses confirment les décisions des agences d'aide et des producteurs ouest-africains qui, selon eux, s'inscrivent dans une tendance à la hausse de la demande (Audouin, 2014).

La production africaine augmente rapidement, qui passait de 400 000 tonnes à 1 million de tonnes entre 2001 et 2011. Cette croissance a été particulièrement prononcée en Afrique de l'Ouest, qui représente désormais 80 % et plus de toute la production en Afrique. En contrepartie, la production en Inde, le plus grand producteur mondial, a plafonné. D'autres régions ont depuis augmenté leur production pour répondre à la demande mondiale. L'Afrique de l'Ouest s'est imposée sur ce marché hâtivement en fournissant les terres primordiales à l'implantation de ces plantations durables (Audouin, 2014).

Le Vietnam et le Brésil rentrent dans ce marché sans tarder, qui deviendront des acteurs essentiels. Le Brésil a perdu la première place en 2011, lorsque la sécheresse a détruit 99 % de sa production de noix de cajou (Dendena et Corsi, 2014).

La Côte d'Ivoire a réalisé d'importants progrès tant au niveau de la production africaine que mondiale, devenant le premier producteur et exportateur mondial de plus de 700 000 tonnes de noix de cajou depuis 2015 (ARECA, 2016).

En 2013-2014, la production de noix de cajou mondiale, était d'environ 2,67 millions de tonnes. (Handbook, 2014). Les producteurs de noix de cajou primordiaux durant cette période étaient l'Inde (774 000 tonnes), la Côte d'Ivoire (480 000 tonnes), le Vietnam (267 000 tonnes) et l'Indonésie (134 000 tonnes), Brésil (134 000 tonnes) (Das, et al., 2017).

D'après les données de la FAO de 2014, le Nigeria, l'Inde, la Côte d'Ivoire, le Vietnam, le Bénin et les Philippines étaient les principaux acteurs de la production mondiale de noix de cajou.

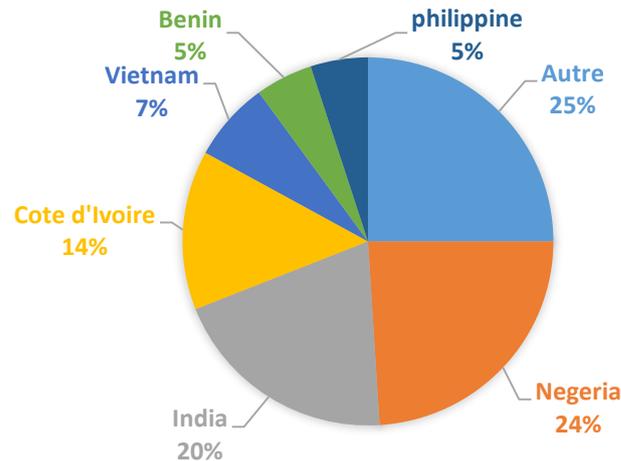


Figure I-23 : Production de pommes de cajou dans le monde Source (FAOSTAT, 2014)

I.3.3.2 Valorisation de la coque de noix de cajou broyée dans les matériaux de construction

La valorisation de la coque de noix de cajou est devenue indispensable en raison de la cumulation de ces déchets qui ont un impact sur l'environnement et qui prennent de l'espace dans la nature.



Figure I-24 : Décharge de coque de noix de cajou

Les travaux de recherche en cours au CoDEM Le BatLab, centre picard dédié à la recherche et au développement de la construction, visent également à remplacer la pétrochimie par des composés « plus verts ». Le chercheur Alexis Theveniaux explique : Les scientifiques ont donc étudié la possibilité de produire des mousses expansées isolantes performantes à partir de

ressources renouvelables, non toxiques et disponibles industriellement, avec un objectif de coût inférieur à 150 €/m². Elle s'est concentrée sur les noix de cajou liquides, une huile phénolique des coquilles considérées comme des déchets. Le mélange de ce composé avec des polyols dérivés de la pétrochimie (et divers adjuvants tels que des catalyseurs, des tensioactifs et des antioxydants) jusqu'à 20 ou 30 % donne des mousses aux propriétés thermiques encore meilleures que les polyuréthanes conventionnels. Cependant, la résistance à la compression est légèrement réduite. Quant à la résistance au feu, les chercheurs travaillent également au développement de retardateurs de flammes biosourcés.

La chimie verte et le recyclage des déchets fusionnent plus que jamais pour produire des matériaux de construction à plus fort impact environnemental (G, 2015).



Figure I-25 : La coque de noix de cajou

La coque est représentée 70 à 80 % de la masse totale de la noix. C'est un sous-produit totalement valorisable grâce à sa richesse en matière lignique/cellulosique et son liquide phénolique interstitielle : le baume. Le liquide brun réside dans de minuscules capillaires à l'intérieur de la coque de la noix de cajou. Il se compose de trois produits chimiques principaux (acide anacardique, cardol et cardanol). Le charbon de coquille de noix de cajou obtenu peut être commercialisé à l'industrie chimique, qui utilise le cardanol pour fabriquer une variété de produits tels que des pesticides, des lubrifiants, des résines, des revêtements anticorrosion et des bioplastiques.



Figure I-26 : Baume de coque de noix de cajou ou CNSL

Fludor-Bénin utilise les coquilles de noix de cajou comme baumes, peintures et liquides sur lesquelles prospère l'industrie aéronautique. Outre l'importance ajoutée générée, cette

production contribue également à la réduction de la pollution causée par les coques de noix de cajou dans la nature. Ces déchets sont nocifs pour le sol et l'atmosphère (Fatim, 2020)

Au Burkina Faso, une stratégie de valorisation des déchets de noix de cajou consiste à mettre en place un four spécialisé. Ce four permet de convertir les coques de noix de cajou en charbon, tout en produisant suffisamment d'énergie pour alimenter l'unité de transformation. Environ 220 kilogrammes de coques sont traités, donnant ainsi 30 kilogrammes de charbon de coquille. Cette approche vise à exploiter les coques de noix de cajou pour générer de l'énergie (agencecofin, 2012).



Figure I-27 : coques de noix de cajou à droite et à gauche le charbon de coques de noix de cajou

I.4 Conclusion

Une connaissance approfondie des argiles utilisées est essentielle pour améliorer la qualité des briques. C'est dans ce contexte que l'argile en général a été étudiée pour mieux comprendre ce matériau.

Après avoir donné précédemment la définition de l'argile, il nous apparaît raisonnable d'écrire le procédé de production de telles briques, c'est une étape incontournable dans la conception le produit final.

La chose la plus importante à noter dans cette recherche, c'est la présence d'argile, à la fois en tant que matière première et matériau de construction, est indéniablement un élément essentiel dans le produit final.

La production de la noix de cajou dit l'anacarde entre 2013 et 2014 atteint près de 2,67 millions tonnes, ce qui résulte des déchets comme sa coquille qui est un résidu organique avec des millions de tonnes qu'il fallait valoriser.

Chapitre II

Caractérisation et classification de la matière première

II.1 Introduction

Ce chapitre traite de l'analyse des matériaux entrant dans la fabrication des briques : analyse chimique et thermique de l'argile et d'ajout (la coque de noix de cajou broyée).

Nous montrerons les rapports des constituants de la paroi (cellulose, lignine, hémicellulose) par analyse chimique du résidu (coque de noix de cajou). Nous procédons ensuite à l'analyse thermique des matériaux utilisés.

Ce dernier constitue un moyen de comprendre les transitions de phase réactive des matériaux Lors de la réalisation de processus de combustion à des températures variées. Ils contribuent avec des données précieuses pour le processus de calcination de leur système. Par conséquent, une analyse thermique des déchets utilisés (la coque de noix de cajou broyée) est nécessaire pour prédire plus précisément leur comportement dans le mélange (argile + CNCB).

L'existence d'une large gamme de performances proposées par les produits entraîne une complexification accrue des textes réglementaires à considérer lors de la fabrication de ces produits. Nous évoquons spécifiquement les critères des tests réalisés dans cette étude car citer tous les critères régissant de ces produits serait long et hors de propos.

La coque de noix de cajou broyée, un résidu organique combustible, est employée pour la production de matériaux poreux. L'augmentation de la porosité au sein de la brique en argile permet d'améliorer sa capacité d'isolation.

II.2 Caractérisation et classification de l'argile

II.2.1 Description, origine et échantillonnage

II.2.1.1 Situation géographique du gisement

Une zone avec plusieurs gisements, dont un gisement d'argile au lieu-dit AMALOU à Semmache dans la commune d'El Adjiba, El-Adjiba est une commune de la région de Kabylie, faisant partie de la daïra de Bechloul dans la wilaya de Bouira. Elle est située au nord-ouest et se trouve à environ vingt kilomètres du chef-lieu de la wilaya de Bouira. La commune est traversée par l'axe routier majeur reliant Alger à Constantine, et se trouve à une distance d'environ 146 kilomètres d'Alger. De plus, la commune est reliée à l'autoroute est-ouest par une bretelle.

Les limites de la commune d'El-Adjiba sont définies de la manière suivante :

- Au Nord : La wilaya de Tizi-Ouzou ;
- Au Sud : les communes d'Ahnif et Ouled Rached
- A l'Est : Les commune de M'Chedallah, Ahnif et Saharidj ;
- A l'Ouest : La commune de Bechloul ;



Figure II-1 : Situation géographique du gisement d'EL ADJIBA

II.2.2 Caractérisation physico-chimique de l'argile

II.2.2.1 Analyse granulométrique

A. Méthode par tamisage à sec après lavage : NF 94-056

L'analyse granulométrique joue un rôle important dans la composition des mélanges. En effet, les tailles et les pourcentages en poids relatifs des différentes familles de grains qui composent l'échantillon peuvent être déterminés. Cela s'applique à tous les granulats d'une taille nominale de 63 mm ou moins, à l'exception des filets (sédimentation).

❖ But de l'essai

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste à examiner la taille des particules présentes dans un échantillon de sol et à évaluer l'importance relative de chaque composante en fonction de dimensions spécifiques préétablies. Les différentes catégories de particules couramment définies lors de cette analyse sont les suivantes : gros éléments, graviers, sable, limon et argile. Cette classification permet de mieux comprendre la composition et les caractéristiques du sol étudié en évaluant la proportion de chaque fraction granulométrique.

❖ Principe de l'essai

Le processus de l'analyse granulométrique implique de passer un échantillon de sol à travers une série de tamis de diamètre décroissant. Ensuite, on pèse le résidu laissé sur chaque tamis afin de pouvoir tracer une courbe granulométrique permettant de classer le sol. Les tailles des mailles des tamis et le nombre de tamis sont choisis en fonction du type d'échantillon et de la précision souhaitée.

On rapporte la masse des différents résidus ou la masse des matériaux retenus sur les tamis par rapport à la masse initiale de l'échantillon. Les pourcentages obtenus sont ensuite présentés sous forme numérique ou graphique. Cette représentation permet d'obtenir une vision claire de la répartition des différentes tailles de particules dans le sol, ce qui facilite sa classification.



Figure II-2 : Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage

B. Méthode par sédimentation norme [NF P 94-057]

La granulométrie par sédimentation est un test complémentaire à la granulométrie par tamisage. L'objectif de l'essai est de déterminer la répartition pondérale des fines particules de sol ayant une taille inférieure à 0,08 mm (GORISSE, 1978).

❖ But de l'essai

Si la granulométrie est inférieure à 100 μm , le tamisage devient impossible. C'est pourquoi nous avons recours à la méthode de la sédimentation.

Le but de ce test est d'utiliser un densimètre pour mesurer la suspension du sol à différents moments sans grande erreur.

Cela permet de bien tracer la courbe granulométrique.

❖ Principe de l'essai

Ce test tire parti du fait que, dans un milieu liquide stagne, la vitesse de sédimentation des particules fines à très fine dépend de leur taille. Pour des particules sphériques de même densité, la loi de Stokes définit la relation entre le diamètre d'une particule et sa vitesse de sédimentation. Classiquement, cette loi est appliquée aux éléments de sol pour déterminer des tailles de particules équivalentes.

❖ Exécution de l'essai

Peser 40 g de matériau, verser de l'eau distillée dans un cylindre gradué de 0,5 litre, puis verser 40 g d'échantillon dans le cylindre gradué, laisser l'échantillon à l'air pendant 1 heure et 30 minutes, puis laisser l'échantillon à l'air pendant 30 minutes. Ajoutez un agent défloculant tel que le silicate de sodium, ou ajouter du pyrophosphate de sodium ou du phosphate de sodium aux matériaux. Cette solution est composée de 1 litre d'eau distillée et de 102 grammes de phosphate de sodium solide.

Après avoir laissé le défloculant à l'air, attendre 1 h 30, puis remplir l'éprouvette avec 1 L d'eau distillée. Attendez 18 à 24 heures pour que le matériau se stabilise et que les particules se déposent.

Une fois la solution stabilisée, agitez toute la solution avec un agitateur pendant 2 minutes pour re séparer les particules. L'échantillon n'est plus touché pour éviter de perturber les particules. Tremper l'hydromètre dans le tube à essai et mesurer. Pendant le test, le thermomètre est immergé dans l'eau pour mesurer la température.

❖ Résultat d'analyse granulométrique

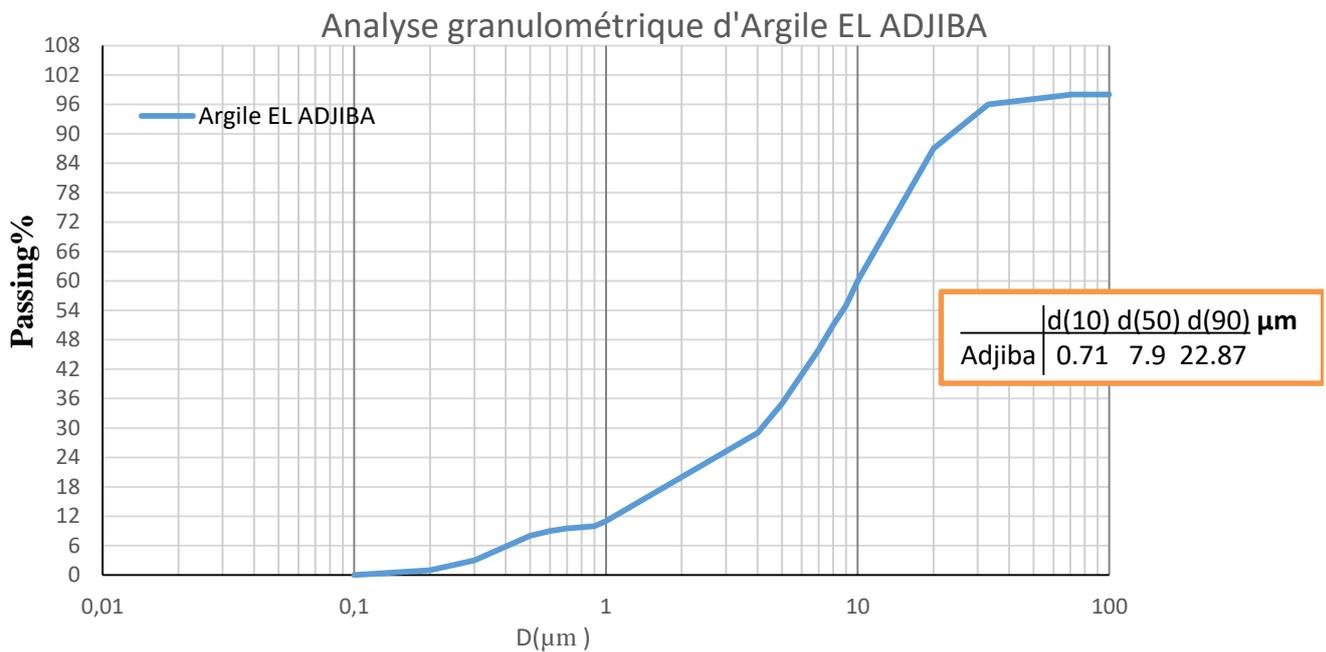


Figure II-3 : Analyse granulométrique d'argile d'EL Adjiba

II.2.2.2 Limites d'Atterberg

Conformément à la norme NF P 94-051, les limites d'Atterberg sont des valeurs pondérales qui caractérisent le comportement du sol en fonction de sa teneur en eau. Elles correspondent à des conditions spécifiques dans lesquelles le sol présente des comportements particuliers en réaction aux variations de la teneur en eau. Ces limites sont déterminées en analysant la fraction de sol qui passe à travers un tamis de 400 µm. En établissant ces limites, on peut mieux comprendre les propriétés et les comportements du sol, ce qui est essentiel dans de nombreux domaines tels que la géotechnique, l'ingénierie des sols et la construction (GORISSE, 1978).

❖ But de l'essai

Parmi les paramètres géotechniques, les limites d'Atterberg qui sont destinées à distinguer un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.

❖ Principe de l'essai

L'essai effectuée en deux phases :

- 1) Étudiez le taux d'humidité "La teneur en eau" auquel une entaille formée dans le sol placée dans une coupelle aux propriétés imposées va se refermer lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés.
- 2) Étudiez la teneur en eau à laquelle le rouleau de sol, dimensionnellement fixé et fabriqué à la main, est fissuré.

❖ Equipement nécessaire

- Appareil de Casagrande.
- Balance numérique.
- Capsules ou tares , spatules, truelles.



Figure II-4 : Appareil de Casagrande

En utilisant ces limites d'Atterberg, il est possible de distinguer différents états d'un sol, tels que sol liquide, sol plastique ou sol sec. Ces paramètres sont importants en géotechnique pour évaluer le comportement et les propriétés d'un sol, notamment en ce qui concerne sa plasticité, sa compressibilité et sa susceptibilité aux mouvements ou aux déformations (Cull, 1974) (Ladevie, 1998)

- WL : limite de liquidité.
- WP : limites de plasticité.
- IP : indice de plasticité.
- $IP = WL - WP$.

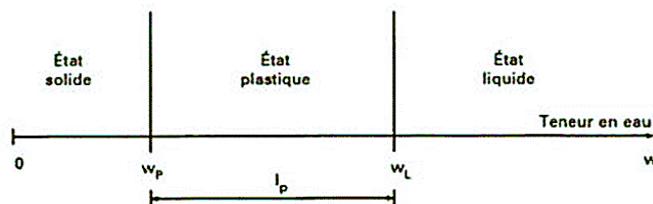


Figure II-5 : Présentation des limites d'Atterberg

II.2.2.3 Classification des différents échantillons

A. Granulométrie : abaque triangulaire de Taylor

L'abaque triangulaire de Taylor est un outil utilisé pour classer les sols en fonction de leur granulométrie. Il se base sur les proportions relatives des différents types de particules présents dans le sol, tels que l'argile, le limon et le sable.

Les classifications normalisées NF P 11-300 de septembre 1992 ont été introduites pour remplacer la typologie primaire connue sous le nom de RTR (Recommandation pour les Terrassements Routiers), qui avait été élaborée par le LCPC et le SETRA. Ces classifications sont largement utilisées dans le domaine de la géotechnique routière, afin de fournir des informations pratiques sur la capacité des sols à être utilisés comme remblais (Abakar, et al., 2017).

Argile	9.25 %
Limon	25.33 %
Sable	66.5 %

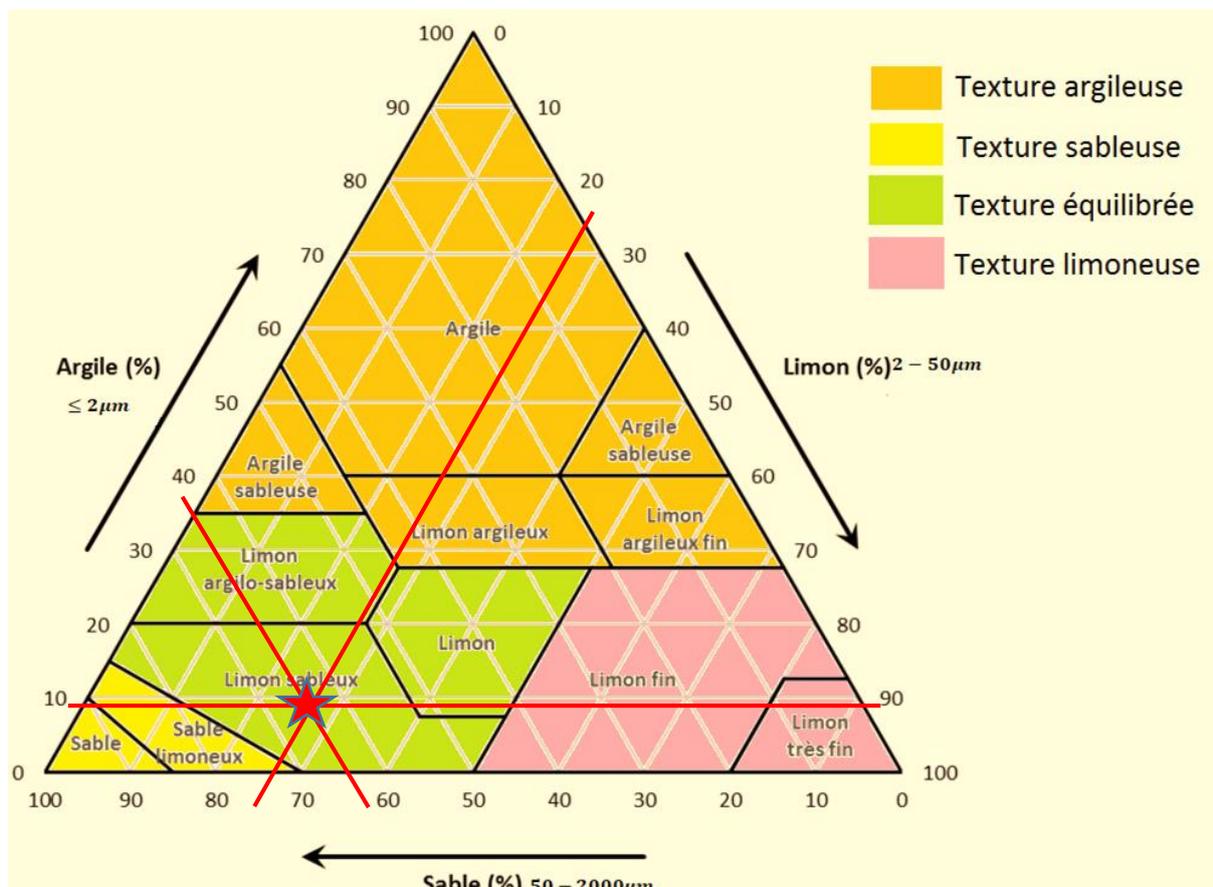


Figure II-6 : Classification des sols fins sur le triangle de Taylor

D'après la classification des sols fins avec l'abaque triangulaire de Taylor, on trouve que notre échantillon d'argile est classé comme Limon sableux (Texture équilibré).

B. Limites d'Atterberg : diagramme de plasticité de Casagrande

Une classification détaillée des argiles selon l'indice de plasticité a été proposée par BURMISTER (1967).

Tableau II-1 : Classification des argiles selon Burmister

Ip (%)	0	1 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 40	>40
Plasticité	Non plastique	Légère	Faible	Moyenne	Élevé	Très élevée

Selon la classification d'Atterberg (1973), les argiles sont classifiées en trois niveaux de plasticité, comme illustré dans le tableau II-2.

Tableau II-2 : Classification des argiles selon Atterberg

IP(%)	<7	7 à 17	>17
Plasticité	Faible	Moyenne	Elevée

Tableau II-3 : Résultats d'essai des limites d'Atterberg

	Limite de liquidité	Limite de plasticité	Indice de plasticité
0%	38.21	19.54	18.67
5%	40.32	20.96	19.36
10%	43.15	22.32	20.83
15%	46.41	24.68	21.73
20%	48.96	27.08	21.88

On peut classer notre argile d'après Atterberg et Burmister, par son indice de plasticité (IP = 18.67) et sa limite de liquidité (WL = 38.21), donc la nature de notre argile est une argile peu plastique.

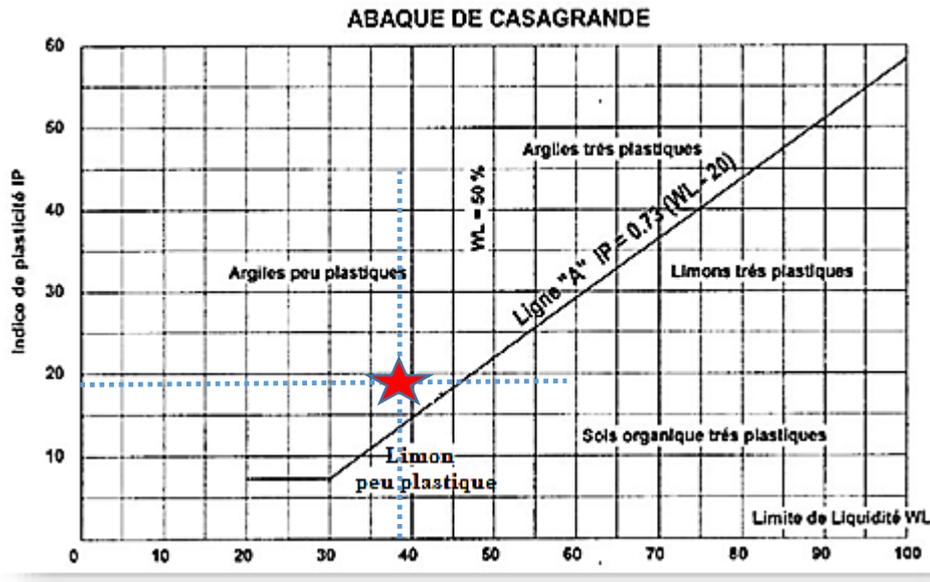


Figure II-7 : Abaques de CAZAGRANDE

II.2.2.4 Composition Chimique

A. Méthode de la Spectrofluorescence X

La spectrofluorescence X est une technique qui permet de déterminer la composition chimique élémentaire d'une substance. Les principaux éléments sont exprimés en formes d'oxydes, ce qui indique la présence de certains éléments du tableau périodique qui sont plus lourds que le fluor (tels que SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O et P_2O_5). Le concept repose sur le fait que lorsqu'une substance est exposée à des rayons X, elle émet de l'énergie sous forme de rayons X, ce phénomène étant appelé fluorescence X ou émission secondaire de rayons X. Le spectre des rayons X émis par la substance est caractéristique de sa composition. L'analyse de cette émission de rayons X secondaires permet de déterminer à la fois les éléments chimiques présents dans un échantillon ainsi que leur concentration massique (Thirion-merle, et al., 2014).

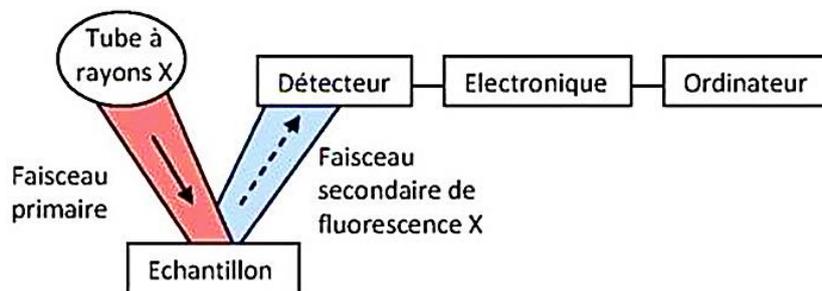


Figure II-8 : Schéma de principe d'un spectromètre (Spectrofluorescence X)

❖ Principe de la méthode

On a opté pour la méthode du dosage des éléments majeurs. La poudre préalablement préparée est chauffée à 1000 °C pendant la nuit, puis elle est desséchée, broyée et pesée. Ensuite, elle est dissoute en utilisant le méta borate de lithium par fusion et le bromure de lithium par démoulage.

Après avoir fondu à 900 °C, le mélange se transforme en un verre boraté, qui est ensuite coulé sous forme de pastille à l'aide d'un creuset en platine.

Étant donné que la présence de silice dans le verre pourrait fausser la mesure de ces éléments dans l'échantillon, on évite d'utiliser du verre contenant de la silice. Par ailleurs, le bore et le lithium sont des éléments invisibles pour la machine utilisée.

Une fois que l'échantillon est préparé, il est introduit dans l'appareil et exposé à un rayonnement X. En conséquence de cette exposition, l'échantillon irradié émet un rayonnement propre qui sera ensuite analysé (Miraucourt, 2017).



Figure II-9 : Coulage de la pastille à 900°C

B. Résultats de l'analyse chimique de l'argile

Les pourcentages massiques d'oxyde de l'échantillon, sont présentés dans le tableau. Cette argile étudiée est graissante (teneur en SiO_2 entre 41,5 % et 56,4 %) Présente une teneur en silice et en oxyde d'alumine réduite. Ces argiles sont semi-acides (teneur en Al_2O_3 inférieure à 28 %) et non réfractaire puisqu'il est inférieure à 45 % et on remarque que cette argile contient plus de 6 % CaO ce qui permet de la classer comme étant une argile calcaire.

Tableau II-4 : Composition chimique d'argile d'ADJIBA (% m)

Material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Cl	LOI
Argile de El Adjiba	47.82	12.08	6.33	13,98	2.24	0.06	0.735	0.362	0.032	16.36

II.2.2.5 Composition minéralogique

A. Méthode de la diffraction au rayon x

La technique d'analyse minéralogique par diffraction des rayons X permet d'identifier la composition minéralogique d'un matériau. Cette méthode implique l'application d'un rayonnement sur un échantillon. Le rayonnement pénètre dans le cristal, entraînant l'absorption

d'une partie de l'énergie et l'excitation des atomes, ce qui conduit à l'émission de radiations dans toutes les directions (Djadouf, et al., 2011).

Lorsque les plans atomiques émettent des radiations en phase, cela génère un faisceau cohérent qui peut être détecté. La condition permettant que les radiations soient en phase est exprimée par la loi de Bragg : $n\lambda = 2d \sin \theta$.

- **n** : nombre de diffractions.
- λ : longueur d'ondes des rayons X.
- **d** : épaisseur de la couche.
- θ : angle de diffraction.

La diffraction des rayons X donne la composition minérale des assemblages d'argile ou de tout autre matériau finement broyé. Il fournit un diagramme de diffraction représentant un ensemble de lignes montrant la réflexion des rayons X. Concernant l'agencement des éléments Al, Si, O et OH dans la structure cristalline, cela se produit au niveau du plan d'organisation.

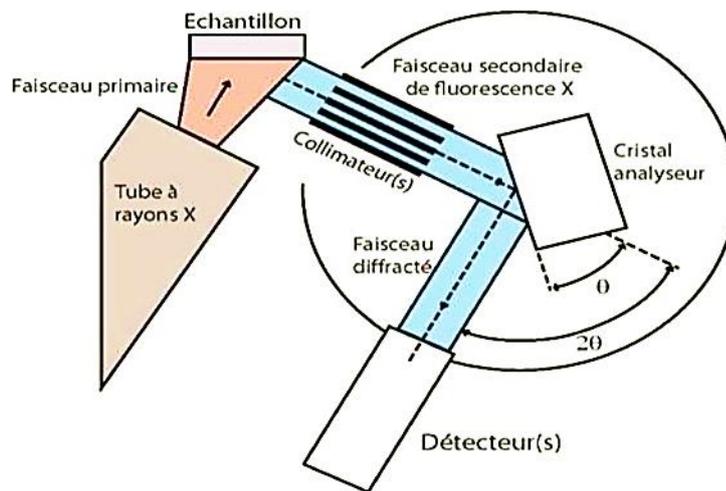


Figure II-10 : Schéma de principe de la diffraction au rayon x

❖ Procédure

Avant de procéder à l'analyse, une étape préliminaire consiste à préparer les échantillons en les séchant, en les broyant et en les tamisant. La matière ainsi transformée en poudre est ensuite placée dans un réceptacle en PVC spécialement conçu à cet effet. Pour éviter toute orientation préférentielle, la poudre est comprimée sans rotation, et une bague est enfoncée sur la pastille en PVC afin de préserver la surface de la poudre qui sera utilisée pour l'analyse. (Moore, et al., 1989).

Ensuite, la pastille est introduite dans la machine où la poudre est exposée à un faisceau de rayons X monochromatiques. Ce rayonnement est émis par une anode métallique et est dirigé à un angle spécifique, θ . Les cristaux présents dans l'échantillon provoquent des diffractions en fonction des distances interplanaires propres à chaque minéral. En variant les angles de 2 à $70^\circ 2\theta$

pendant 20 minutes, un diffractogramme est obtenu. Ce diffractogramme représente le phénomène de diffraction sous forme de pics d'intensité variable en fonction des angles (Miraucourt, 2017).



Figure II-11 : Image d'un DRX (Diffractomètre a Rayon X)

❖ **Résultats de l'analyse minéralogique de l'argile**

Le diagramme de diffraction des rayons X de l'argile a montré qu'elle était principalement composée de calcites, de quartz et de kaolinite. La présence de quartz est pratiquement systématique, due à la formation géologique de l'argile. La présence de kaolinite dans cet échantillon a facilité la maniabilité et le séchage des briques. En reliant les résultats de l'analyse de DRX à ceux de l'analyse chimique, les phases cristallines principalement représentées par les minéraux suivants : quartz, calcite, muscovite, kaolinite et albite détectés dans l'échantillon d'argile peuvent être quantifiés par calcul.

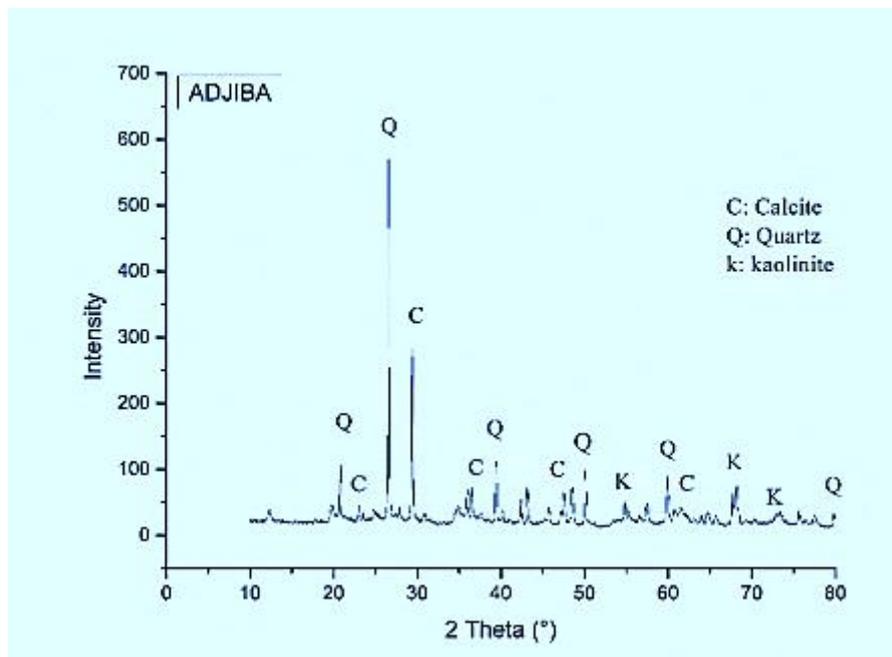


Figure II-12 : Diagramme de diffraction des rayons X de l'argile

II.3 Caractérisation et classification de coquille de noix de cajou broyé (CNCB)

II.3.1 Caractéristiques physiques (morphologie)

La composition de la coque de noix est de deux coquilles, l'une fine à l'extérieur de couleur verte, et l'autre dure à l'intérieur et de couleur brune, séparée par une structure qui comprend une résine phénolique. Il existe une unique amande de forme de demi-lune au cœur de la noix d'environ trois centimètres de long encerclée d'un film blanc (LEFEBVRE, 1969).

La noix de cajou est un akène réniforme gris ou brun grisâtre à maturité. Il mesure en moyenne 2,08 cm de largeur, 2,75 cm de longueur et 1,63 cm d'épaisseur ; son poids moyen est voisin de 4,70 g. Il existe de différentes variations à différentes tailles. Dans le mésocarpe de la coque, dure et ligneuse, se trouvent des cavités ou alvéoles contenant une résine phénolique, de couleur ambrée (LEFEBVRE, 1969).

La noix de cajou est un akène de forme asymétrique semblable à un haricot. Un membre gonfle plus que l'autre qui est plus ou moins aplati. Il se compose des parties suivantes :

- Un péricarpe épais, dur et résistant sans être cependant cassant comme la coque d'une noix de noyer Juglans.
- Les noix de cajou sont enveloppées à l'intérieur et toute la surface est recouverte d'une coque. La peau a une structure en nids d'abeilles, le tissu ligneux constituant une substance très dure, sauf aux points correspondant au creux de la noix. Il y a un liquide foncé dans les alvéoles, très mousseux, de la pâte de noix de cajou (LEFEBVRE, 1969)

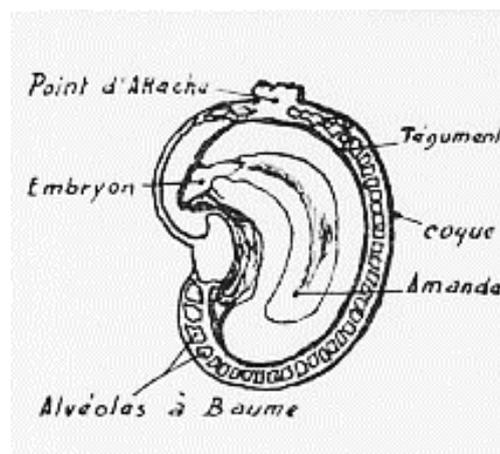


Figure II-13 : Noix de Cajou Coupe longitudinale Echelle 1/1

II.3.2 Composition chimique

L'analyse chimique d'ajouts organiques NCB, nous a donné ces résultats qui ont été réalisés au laboratoire de l'université de Bejaia.

Tableau II-5 : Composition chimique de NCB

Cellulose	hemicellulose	lignin	Extractives
43.7	21.24	26.7	9.1

II.3.3 Les analyses thermogravimétriques (ATG)

Les mesures thermogravimétriques ont été effectuées en utilisant un appareil TGA/DTA (Analyse thermogravimétrique - Analyse thermique différentielle) PERKIN ELMER Diamond, sous un flux d'air de 100 mL/min. La plage de température s'étendait de 25 à 500 °C, avec une vitesse de chauffe de 10 °C/min. Des creusets en aluminium ont été utilisés pour ces analyses. Ces mesures ont permis de déterminer la température de dégradation thermique des matériaux.

Analyse thermogravimétrique (ATG) de trois biomasses dont les coques de noix de cajou. Selon ces auteurs, une perte de masse importante a été observée dans la gamme de température comprise entre 247°C et 420°C, avec une perte d'environ 77% de la masse initiale (TSAMBA, et al., 2006). En considérant le taux de perte de masse, ces auteurs ont montré que deux pics de vitesse étaient obtenus, l'un vers 320 °C et l'autre vers 395 °C, ce qui concerne la décomposition de la cellulose et à la décomposition de l'hémicellulose, la décomposition de la lignine se produisant à 500 °C environ. Cette étude a également permis aux auteurs de mettre en évidence la plus grande réactivité des coques de noix de cajou par rapport à d'autres biomasses telles que les coques de noix de coco et les granulés de bois. Par conséquent, leur faible énergie d'activation (130 kJ/kg) est confirmée (TAGUTCHOU, et al., 2012).

Les résultats de l'Analyse thermogravimétrique (ATG) de Coquille Noix de cajou broyé obtenus sont présentés ci-dessous :

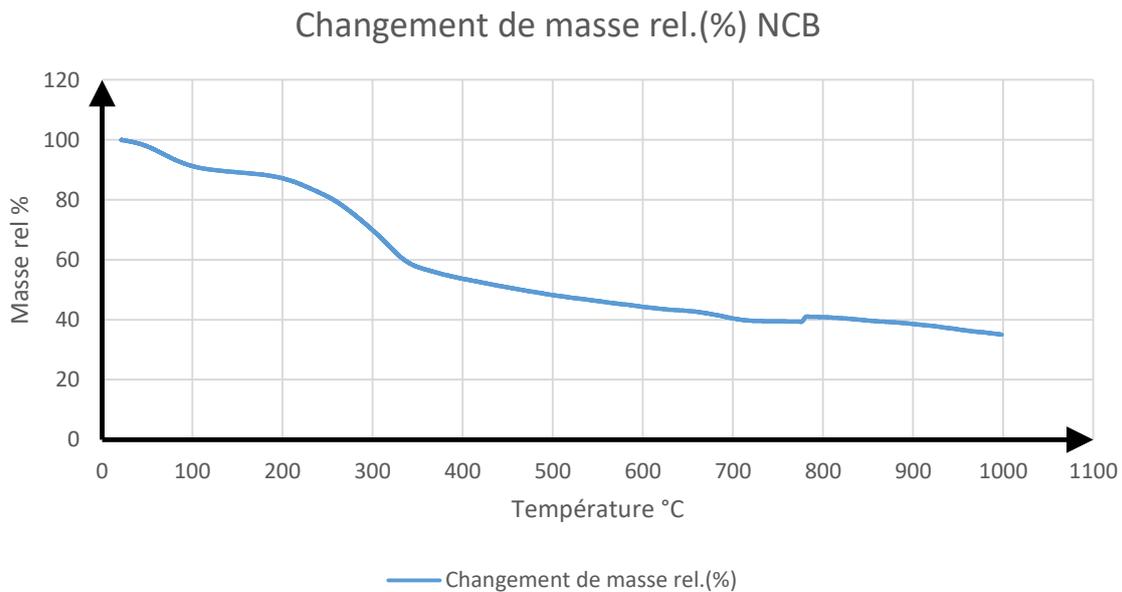


Figure II-14 : Changement de masse Rel% de NCB en fonction de température ATG

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes efforcés de décrire les caractéristiques des matériaux qui ont été employés « l'argile d'El Adjiba et les coquilles de noix de cajou broyés » dans la fabrication de cette brique.

On remarque que ce gisement est un sol limon sableux peu plastique, et l'analyse de diffraction des rayons X a été réalisée et les résultats obtenus sont : la présence de Quartz, calcite et kaolinite.

Et pour l'analyse chimique de NCB nous a donné de Cellulose, Hemicellulose, Lignin et Extractives

Chapitre III

Travail au laboratoire – Confection des éprouvettes

III.1 Introduction

Ce chapitre fournit une présentation détaillée des méthodes expérimentales utilisées ainsi que du matériel employé, pour l'identification et la caractérisation des matériaux utilisés. Il va permettre d'investiguer et de déterminer la résistance mécanique et le comportement thermique des briques confectionnées à base d'argile stabilisée avec des coquilles de noix de cajou broyées.

III.2 Confection des éprouvettes

III.2.1 Principe

Le principe est de réaliser des échantillons dans lesquels on incorpore de coquilles de noix de cajou broyées en faisant varier la quantité (0 %, 5 %, 10 %, 15 % et 20 % en poids) dans ce mélange de briques, qui est ensuite soumis à une série de tests et Protocole expérimental dans le but d'identifier et d'évaluer l'effet de cet ajout sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques de l'éprouvette.

III.2.2 Matériel utilisé

- Broyeur + Tamis de différents diamètres.
- Balance de précision.
- Malaxeur mélangeur.
- Moules prismatiques de $(160 \times 40 \times 40)$ mm³ pour la mesure des propriétés physico-mécaniques.
- Presse hydraulique.
- Etuve.
- Four de cuisson électrique.



Figure III-1 : Matériels utilisés

III.2.3 Mode opératoire

On prépare cinq séries d'éprouvettes prismatiques de l'échantillon pour chaque diamètre (3 échantillons dans chaque série) pour des tests en fonction de leur pourcentage : 0%, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %.

15 % et 20 % (en poids) du CNCB additionné. Le mélange (CNCB-Argile) et eau a été malaxé pendant 5 minutes, afin de s'assurer qu'il est homogène et que les grains d'argile sont étroitement combinés avec ceux du CNCB. Des briques d'argile avec ajout du NCB, dans les proportions ci-dessus, ont été fabriquées pour chaque diamètre. Une presse hydraulique à charge uniaxiale a été utilisée pour presser le mélange dans un moule de taille (4×4×16) cm³, ces briques pleines ont été fabriquées manuellement dans le laboratoire de béton de l'université de Bouira.

Les mesures de masse effectuées sur chaque éprouvette sont basées sur 1500 g d'argile sèche. Fabriquer des échantillons de briques pleines à l'aide d'équipements de laboratoire nous permet d'obtenir trois unités de brique pleine de (4×4×16) cm³, à partir de chaque quantité de pain d'argile.

Tableau III-1 : Les mesures de masse d'échantillon argile et NCB

CNCB (%)	/	Masse (%)	Masse (g)
0	Argile	77	1155
	Ajout (%)	0	0
	Eau	23	345
	Masse total	100	1500
5	Argile	72	1080
	Ajout (%)	5	75
	Eau	23	345
	Masse total	100	1500
10	Argile	65	975
	Ajout (%)	10	150
	Eau	25	375
	Masse total	100	1500
15	Argile	58	870
	Ajout (%)	15	225
	Eau	27	405
	Masse total	100	1500
20	Argile	46.55	1396.5
	Ajout (%)	20	600
	Eau	33.45	1003.5
	Masse total	100	1500

Les échantillons moulés ont été laissés à sécher à l'air libre pendant une certaine période de 72 heures environ en laboratoire, puis séchés à nouveau dans une étuve à 105 °C jusqu'à ce que le poids soit complètement stable (moins de 2 % d'écart entre deux pesées) pour assurer une élimination complète de l'eau libre et éviter les fissures lors de la cuisson (Le séchage a pris 36 h).



Figure III-2 : les éprouvettes moulées sur la gauche à séchage libre et sur la droite après séchage à l'étuve

Ces éprouvettes sont ensuite cuites dans un four électrique jusqu'à 600 °C, avec un taux de chauffage de 2 °C / min (La température a été augmentée de manière progressive au début du processus pour assurer l'incinération des substances organiques), puis 5 °C / min jusqu'à 900 °C (la matière organique est déjà consommée), on la laisse à 900 °C pendant 1H.

Les échantillons ont été ramenés à la température ambiante en les refroidissant pendant une durée de temps dans le four, pour éviter un choc thermique.



Figure III-3 : les éprouvettes avant et après la cuisson

III.3 Résistance mécanique

III.3.1 La résistance à la flexion

L'essai de flexion d'une poutre est une méthode d'essai mécanique couramment utilisée pour évaluer la résistance d'un matériau à la flexion.

La flexion d'un matériau se définit par la déformation jusqu'à rupture d'une poutre sous l'action de force transversale. Dans notre essai, on utilise le principe de flexion dite « trois points » sur une éprouvette de dimension (4 × 4 × 16) cm³. En poursuivant l'essai jusqu'à la rupture, nous

obtenons la contrainte de rupture, également connue sous le nom de contrainte de traction par flexion.

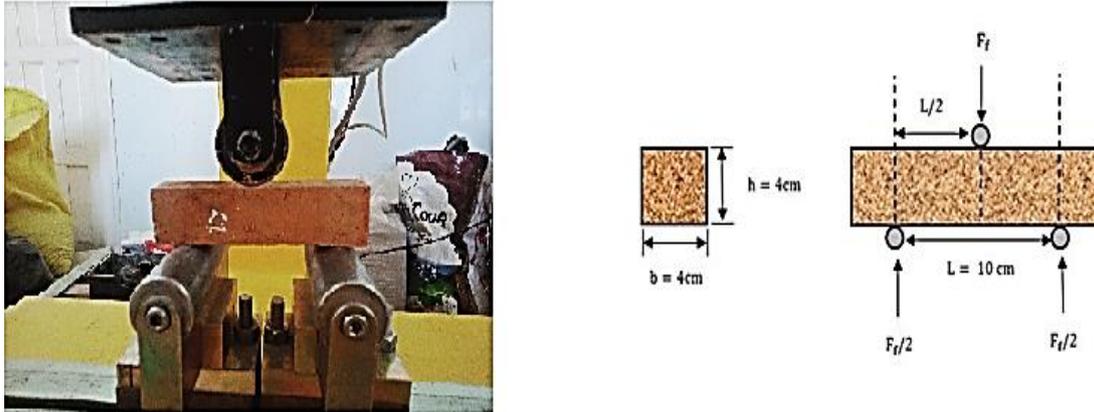


Figure III-4 : L'essai de flexion

III.3.2 La résistance à la compression

Il s'agit de comprimer un échantillon avec une force croissante et la compression doit toujours être perpendiculaire à la surface sur laquelle repose la brique jusqu'à ce que des fissures apparaissent pour déterminer sa résistance à la compression.

Les essais de compression ont ensuite été réalisés sur les deux demi-prismes issus des essais de flexion. Les demi-éprouvettes sont comprimées par leur surface de pose sous une section de (4*4) cm, en appliquant une charge croissante jusqu'à ce que l'éprouvette se rompe.

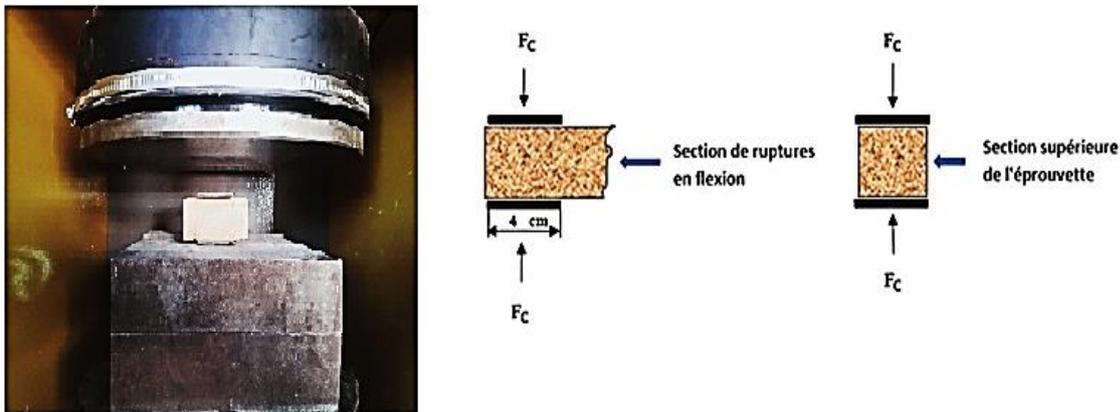


Figure III-5 : L'essai de compression

III.4 Les pertes en poids et retrait longitudinal de séchage

Le retrait (R_s), exprimé en pourcentage, est défini comme la différence entre la longueur de l'éprouvette après démoulage (à l'état frais) et la longueur de l'éprouvette après séchage ultérieur.

Le principe de l'essai est de mesurer avec un pied à coulisse ou bien à l'aide d'un déformomètre de précision $\pm 0,01$ mm, les variations dimensionnelles (raccourcissement longitudinal) des

éprouvettes (16×4×4) cm, puis avec une balance de déterminer les pertes en poids au séchage (P_s) par rapport au repère d'origine (lors du démoulage des éprouvettes).

On la calcule avec ses équations :

$$\%R_s = 100 \times \frac{L_p - L_s}{L_p}$$
$$\%P_s = 100 \times \frac{W_p - W_s}{W_p}$$

- : Longueur à l'état frais (après façonnage).
- : Longueur après séchage.
- : Poids à l'état frais (après façonnage).
- : Poids après séchage.

III.5 La conductivité thermique

La conductivité thermique est une propriété thermo-physique hautement recherchée dans le domaine des matériaux de construction. Son but principal est de mesurer la conductivité thermique des matériaux de construction et le taux d'efflux de chaleur d'un matériau homogène en appliquant un choc thermique et en surveillant la température dans le temps.

Le but de cet essai résidait à placer un élément chauffant sous forme de fil entre deux surfaces d'éprouvette du matériau à caractériser. Les fils transfèrent la chaleur par étape, générant localement quelques degrés de chaleur dans le matériau. Cet échauffement est généralement mesuré dans le temps avec un thermocouple. C'est cette analyse mathématique de l'échauffement (grâce au logiciel d'interface graphique) cela permet de déterminer la conductivité thermique.

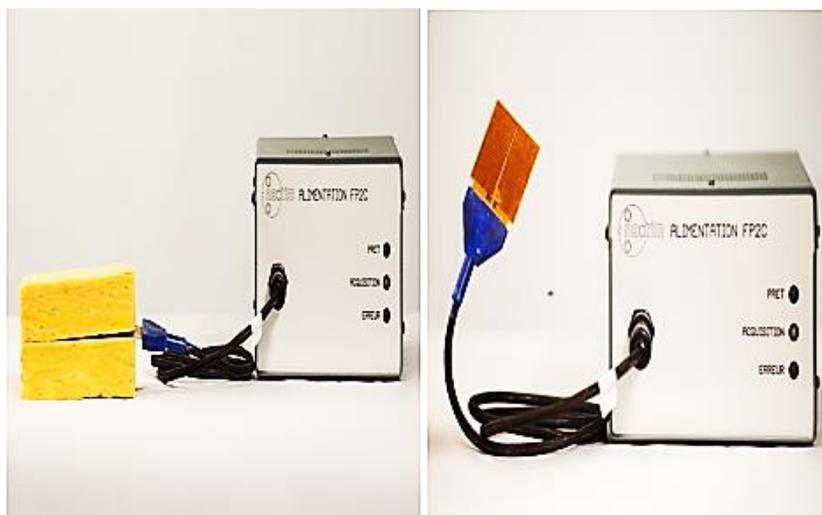


Figure III-6 : l'appareil qui mesure la conductivité thermique

III.6 Analyse de la porosité apparente

Les tests ont été réalisés sur trois échantillons de chaque pourcentage de CNCB ayant une forme rectangulaire de dimensions (4×4×16) cm³. La masse de ces échantillons a été maintenue constante en les séchant dans une étuve à une température de 105°C, et la différence des deux pesées effectuées à deux heures d'intervalle est supérieure ou égale à 0,1 %. Après un refroidissement de 30 minutes dans un dessiccateur, la masse de l'échantillon à l'état sec a été mesurée (masse Ms).

Les éprouvettes desséchées ont été placées dans un récipient en verre, qui est ensuite disposé dans une enceinte sous vide. L'air a été retiré à l'aide d'une pompe à vide. Le récipient a été rempli d'eau déminéralisée jusqu'à ce qu'elles soient complètement immergées dans l'eau déminéralisée et a été placé sous vide pendant une durée de 24 heures. Après cela, ils ont été retirés de l'eau et séchés soigneusement et rapidement avec une serviette sèche. La masse saturée en eau (masse Mst) a été déterminée par la suite.

A la fin, l'éprouvette a été pesée dans l'eau (masse Mph). La porosité a été évaluée en calculant le rapport entre le volume total des vides ouverts du matériau et le volume apparent.

Cette quantité a été évaluée en utilisant l'équation suivante :

$$P_r = \frac{(M_{st} - M_s)}{(M_{st} - M_{ph})} \times 100$$

- **Pr** : porosité
- **Mst** : Masse saturé d'échantillon.
- **Ms** : Masse sèche d'échantillon.
- **Mph** : Masse par la poussé hydrostatique.

III.7 Masse volumique apparente

Pour déterminer la masse volumique apparente, la procédure décrite dans la méthode de porosité a été utilisée. Le calcul de la masse volumique apparente est effectué de la manière suivante :

$$M_{app} = \frac{M_s}{(M_{st} - M_{ph})}$$

- **Mapp** : Masse volumique apparente.
- **Ms** : Masse sèche d'échantillon.
- **Mst** : Masse saturé d'échantillon.
- **Mph** : Masse par la poussé hydrostatique.

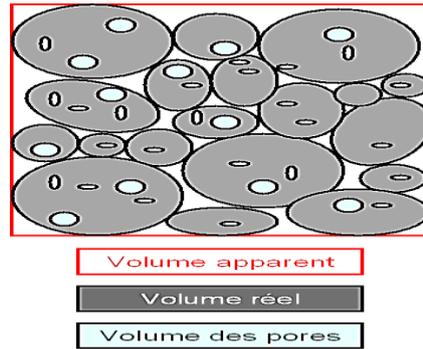


Figure III-7 : La masse volumique apparente

III.8 Absorption d'eau

Les éprouvettes de brique sont séchées et refroidies conformément à la méthode indiquée pour mesurer la porosité. Ils sont ensuite plongés, pendant 24 heures dans de l'eau déminéralisée.

L'équation suivante est utilisée pour calculer l'absorption d'eau :

$$A = \left(\frac{M_{st} - M_s}{M_s} \right) \times 100$$

- **M_{st}** : Masse saturé d'échantillon.
- **M_s** : Masse sec d'échantillon.

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1 Introduction

Ce chapitre expose les résultats essentiels issus de cette étude et recherche, qui s'appuie sur des normes et de répondre aux principales interrogations sur l'effet de l'ajout de noix de cajou broyées dans la confection des briques sur les propriétés physiques, mécaniques et thermiques de ces dernières.

IV.2 Résultat de la résistance à flexion

L'augmentation du pourcentage d'ajouts (CNCB%) dans les éprouvettes conduit à une diminution de la résistance à la flexion. Cette diminution est attribuable à l'augmentation de la porosité de la structure en briques. Parce que la résistance à la flexion est basée sur la porosité. Cette porosité peut produire pendant la confection des éprouvettes et des imperfections microstructurales et de la taille et du type d'ajouts utilisés.

Tableau IV-1 : Résultats obtenus lors de l'essai de résistance à la flexion

CNCB%	Force moyenne (KN)	Résistance à la flexion moyenne (MPa)
0%	1.8	4.3
5%	0.8	1.8
10%	0.8	1.8
15%	0.6	1.5
20%	0.5	1.1

Nous avons présenté ces résultats sous forme de diagramme afin de mieux comprendre ces résultats :

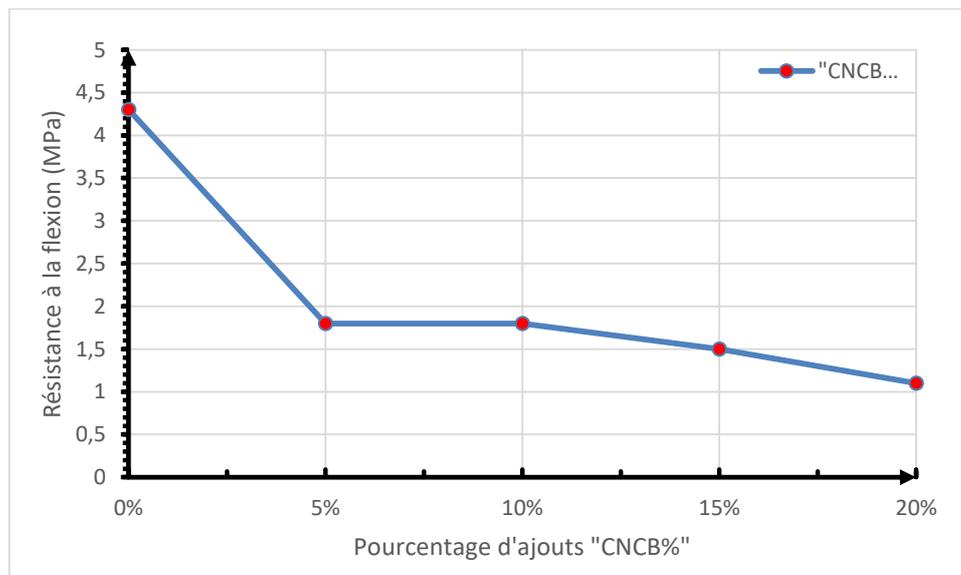


Figure IV-1 : Résistance à la flexion (MPa) en fonction de pourcentage d'ajouts (coquilles de noix de cajou broyées %)

IV.3 Résultat de la résistance à la compression

Résistance à la compression des produits rouges en terre cuite selon la norme (NA 5023 de 1995) est donné entre 10 à 40 (MPa).

Tableau IV-2 : Résultats de l’essai de la résistance à la compression

CNCB%	La force moyenne (KN)	La résistance à la compression moyenne (MPa)
0%	29.65	18.55
5%	21.20	13.20
10%	16.65	10.40
15%	13.10	8.10
20%	9.60	6

Nous avons présenté ces résultats sous forme de diagramme afin de mieux comprendre ces résultats :

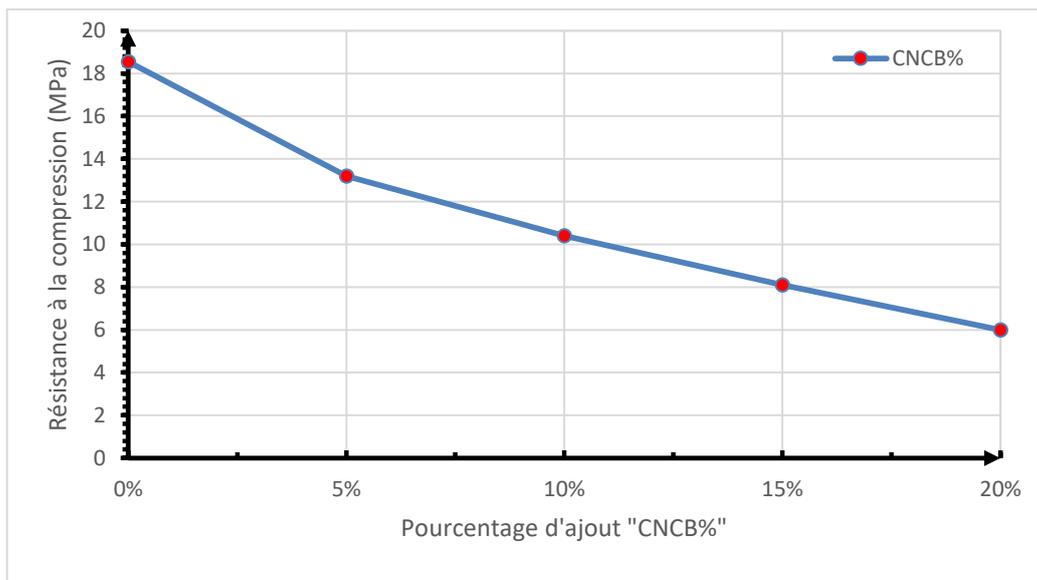


Figure IV-2 : Résistance à la compression (MPa) en fonction du pourcentage d’ajouts (coquilles de noix de cajou broyées %)

Les variations du pourcentage d'ajouts, tels que les noix de cajou broyées, peuvent avoir un impact sur la résistance à la compression, on remarque la résistance à diminuer avec l'augmentation du pourcentage du (noix de cajou broyées), cette diminution peut être due à la formation de pores non fermés et formes non sphérique lors du mélange de l'argile avec un diamètre plus élevé du (NCB) donc des grands pores créés par la matière organique qui brûle pendant la cuisson, donc une diminution significative de la résistance à la compression est obtenue. Certaines valeurs relevées (0%,5%,10%) sont toujours supérieures à celles exigées par la norme algérienne qui est inclus entre 10 à 40 MPa.

IV.4 Résultat des pertes en poids et retrait longitudinal de séchage

La première chose à prendre en compte lors de la phase de séchage et de cuisson du mélange de briques est l'eau qui y est ajoutée. Cette eau est la première composante à subir une évaporation pendant le processus de séchage, suivi de la cuisson. Selon le type d'argile utilisé, l'évaporation de cette eau peut entraîner une première perte de poids lors du séchage, puis une seconde perte de poids après la cuisson.

Tableau IV-3 : Résultat des pertes en poids et retrait longitudinal de séchage

	Masse moyenne à l'état plastique (g)	Masse moyenne au séchage (g)	Longueur de l'éprouvette à l'état frais (cm)	Longueur de l'éprouvette au séchage (cm)	Rétrécissement au séchage (R _s) %	Perte de poids au séchage (P _s) %
0%	477	373	16	14.70	8.12	21.80
5%	453	344	16	14.80	7.50	24
10%	431	318	16	14.90	6.87	26.21
15%	430	316	16	15	6.25	26.51
20%	408	299.5	16	15.20	5	26.59

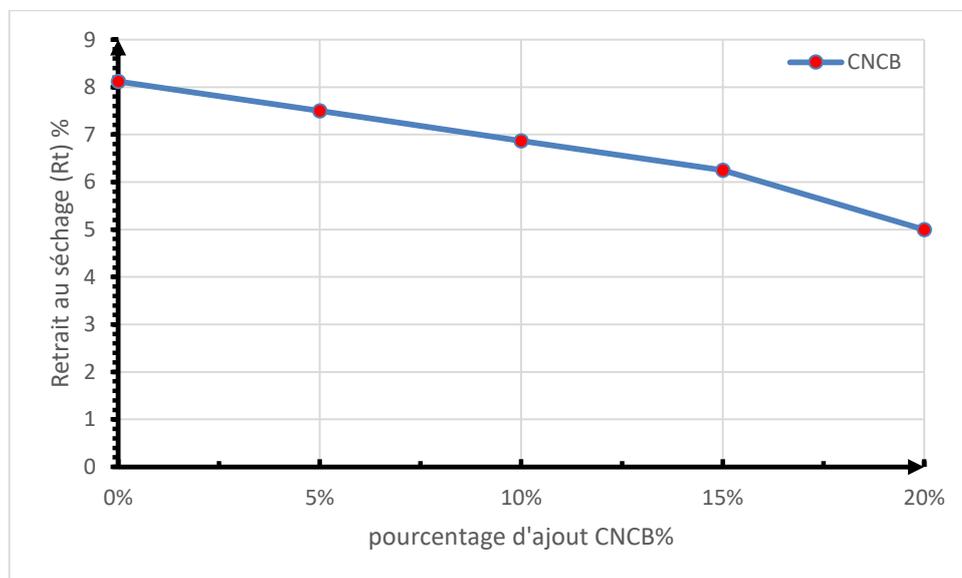


Figure IV-3 : Retrait au séchage % en fonction de pourcentage de CNCB%

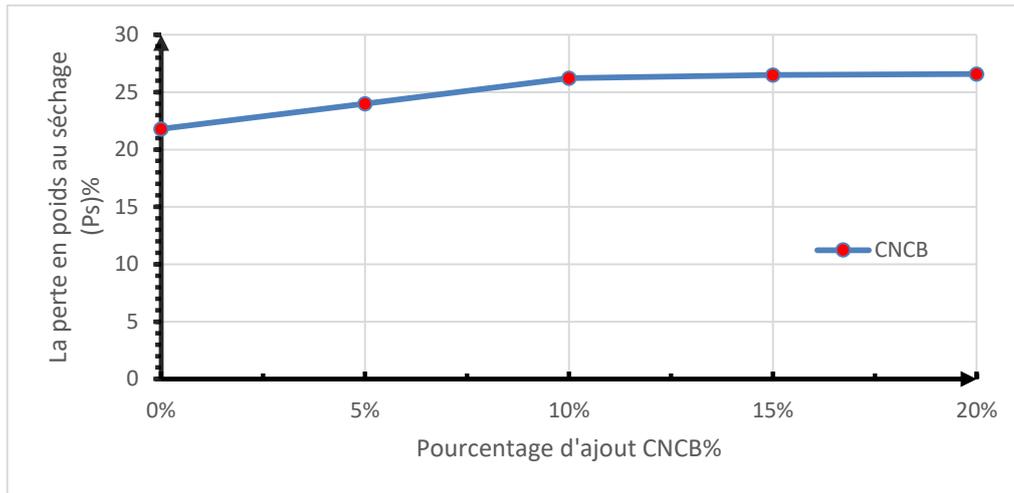


Figure IV-4 : Graphe de la perte en poids au séchage (%) en fonction de pourcentage d'ajout CNCB (%)

Plus le pourcentage d'ajouts NCB est élevé, plus la perte de poids lors du processus de séchage augmente de manière proportionnelle.

IV.5 Résultat La conductivité thermique

Les résultats actuels prouvent que la conductivité thermique diminue considérablement avec une augmentation du pourcentage des coquilles de Noix de cajou broyées, l'additif laisse des vides dans la structure lors de la combustion pendant la cuisson. Ahmad et al. (2017). Donc la présence des pores diminue la concentration des voies de conduction thermique.

La conductivité thermique d'un matériau céramique dépend des voies conductrices thermiques qui sont affectées par la microstructure, la distribution granulométrique et la quantité des vides créés lors de la cuisson d'un corps (Binici, et al., 2007).

Donc nous concluons que plus la proportion d'air à l'intérieur du corps de la brique est élevée, plus le caractère d'isolation thermique du matériau sera élevé, puisque l'air est un bon isolant par rapport aux solides.

Tableau IV-4 : Résultat de la conductivité thermique sur les éprouvettes

CNCB%	Conductivité thermique w/m.k
0%	0.49
5%	0.41
10%	0.37
15%	0.32
20%	/

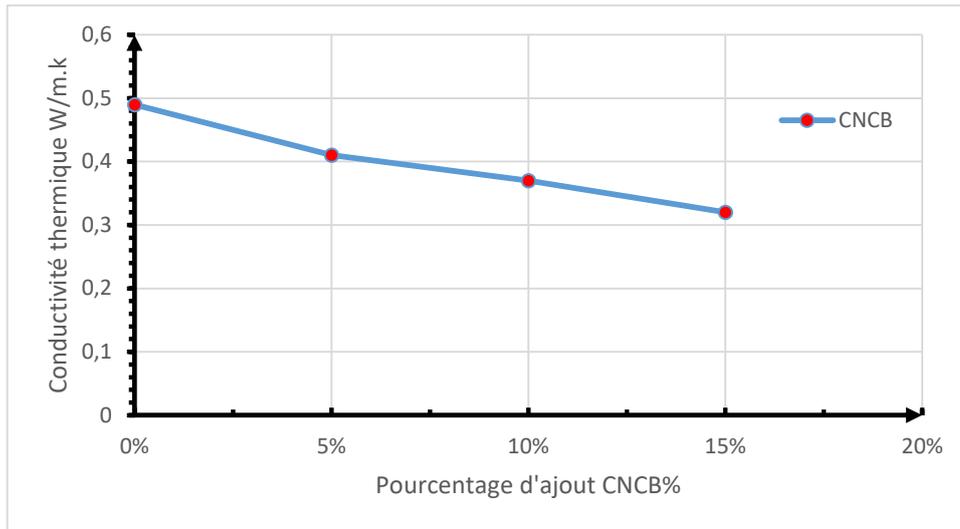


Figure IV-5 : Graphe de la conductivité thermique en fonction de pourcentage d'ajout CNCB%

Remarque : pas de résultat sur le mélange de 20 % (NCB) à cause de la présence de plusieurs micros fissure.

IV.6 Résultat de la porosité apparente

La porosité apparente correspond au rapport des pores par unité volumique d'un solide poreux. L'addition de la CNCB influe considérablement sur la microstructure des briques en terre cuite. L'appréciation de cette brique a montré que sa porosité apparente dépend de la taille et du contenu de coquille de noix de cajou.

Cette porosité augmente à mesure que le pourcentage de CNCB et son diamètre augmentent. Cette coquille de NCB est consommée facilement pendant la cuisson et produit de nombreux pores. En considération de la nature organique de la noix de cajou, sa porosité dans les corps argileux a été étudiée. Le diamètre de ces pores formés au cours de la combustion de cette coquille de NCB a été considérablement réduit.

L'augmentation de la porosité apparente est probablement due à de plus grandes fissures formées dans les échantillons durant la cuisson où le diamètre et la quantité de l'addition sont plus élevés.

Tableau IV-5 : Résultat de la porosité apparente

CNCB%	Porosité apparente %
0%	29.89
5%	32.34
10%	37.32
15%	40.54
20%	/

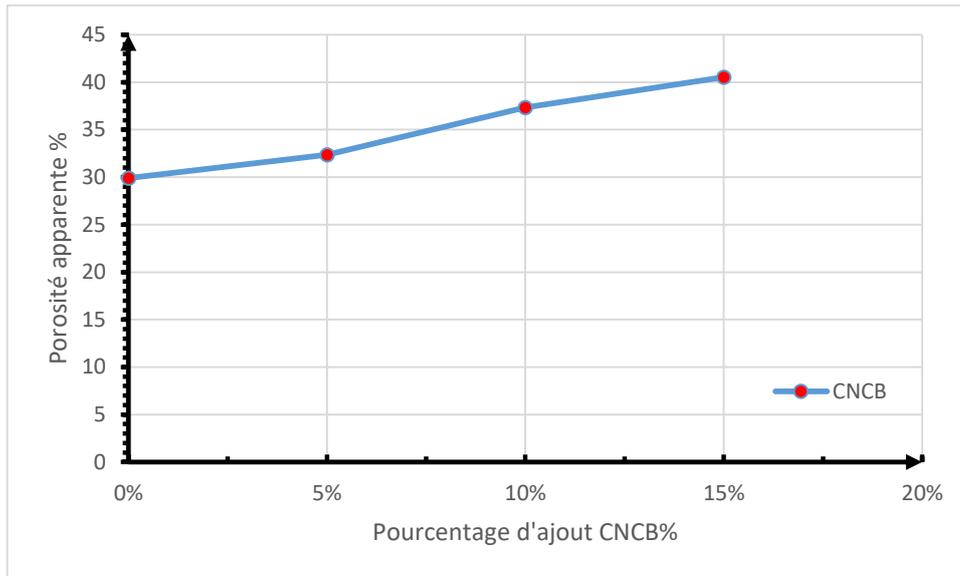


Figure IV-6 : Porosité apparente en fonction d'ajout CNCB%

Remarque : pas de résultat sur le mélange de 20 % (CNCB) à cause de la présence de plusieurs micros fissure.

IV.7 Résultat de La masse volumique apparente des briques

Parmi les propriétés importantes qui peuvent être avoir une liaison avec les propriétés du matériau « Argile et l’ajout CNCB », ainsi que les caractéristiques mécaniques et thermiques La masse volumique apparente diminue grâce à la formation des pores pendant la cuisson attendue que combustion de « CNCB » présente dans la brique.

Nous concluons que l’ajout de CNCB dans la brique cuite a abaissé sa masse volumique, plus que la quantité de la coquille de noix de cajou broyée augmentant plus que la masse volumique apparente diminuant.

Tableau IV-6 : La masse volumique apparente de la brique

CNCB%	Masse volumique apparente g/cm ³
0%	1.62
5%	1.44
10%	1.36
15%	1.21
20%	/

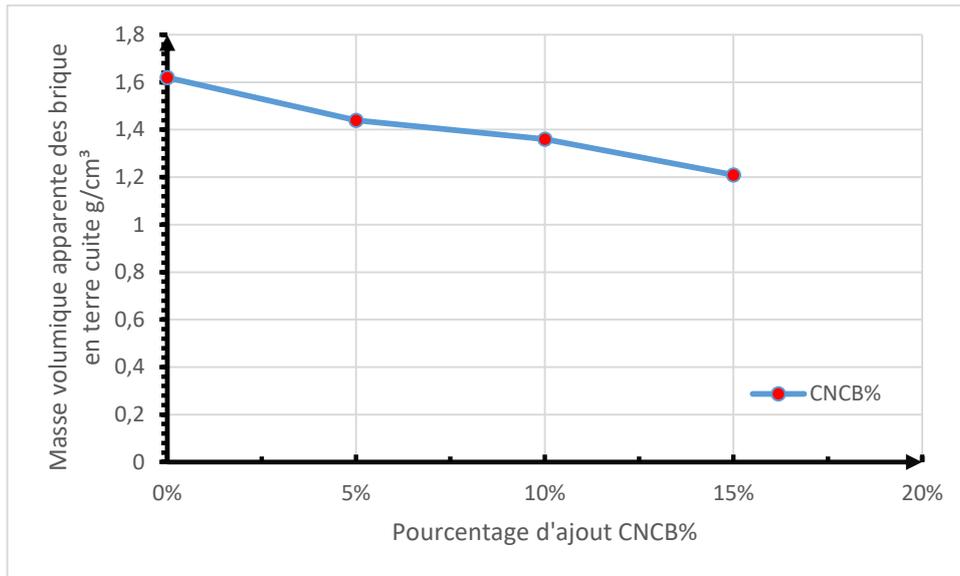


Figure IV-7 : Masse volumique apparente des brique en terre cuite en fonction de pourcentage d'ajout CNCB%

Remarque : pas de résultat sur le mélange de 20 % (CNCB) à cause de la présence de plusieurs micros fissure.

IV.8 Résultat d'absorption d'eau

On remarque dans ce tableau que plus le pourcentage de CNCB augmente, plus l'absorption d'eau augmente, elle est provoquée par le nombre de pores résultant de la combustion de la matière organique CNCB.

Donc nous concluons que l'absorption d'eau était inversement proportionnelle à la densité apparente.

Tableau IV-7 : Résultats d'absorption d'eau

CNCB%	Absorption d'eau %
0%	17.9
5%	22.45
10%	27.44
15%	33.50
20%	/

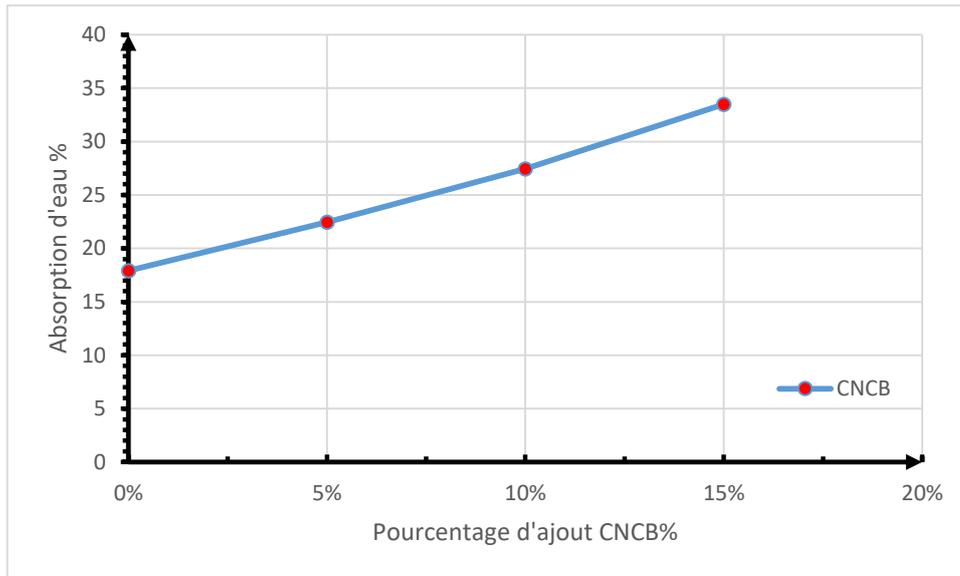


Figure IV-8 : Absorption d'eau% en fonction CNCB%

Remarque : pas de résultat sur le mélange de 20 % (CNCB) à cause de la présence de plusieurs micros fissure.

IV.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudiés l'influence des coquilles de noix de cajou broyées sur les facteurs physiques, mécaniques et thermiques de la brique en terre cuit.

Nous avons obtenu des briques qui contiennent des pores ne créant pas l'effet de la combustion de la matière organique « CNCB » a la cuisson cette porosité peut influencer sur la conductivité thermique et la résistance mécanique, aussi sur l'absorption d'eau.

Les conclusions que nous avons obtenues sont :

- Le pourcentage d'ajout 'CNCB' fait baisser la résistance à la compression, malgré cela, elle reste acceptable vis-à-vis de la norme.
- La perte en poids au séchage augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout 'CNCB' causé par l'augmentation des quantités d'eau nécessaires pour obtenir la plasticité au façonnage.
- Le retrait au séchage est proportionnel au pourcentage d'ajout 'CNCB'.
- La conductivité thermique diminue avec l'augmentation d'ajout 'CNCB' parce que ce produit a une porosité élevée ce qui donne la possibilité d'absorber la chaleur ou de garder la fraîcheur. Ce qui lui permet d'être un bon isolant thermique.
- Cette porosité augmente à mesure que le pourcentage de 'CNCB' augmente.
- L'ajout de CNCB dans la brique cuite a abaissé sa masse volumique apparente plus le pourcentage d'ajout 'CNCB' augmente, plus la densité diminue à cause de la porosité provenant de la combustion au cours de la cuisson de CNCB.
- L'absorption d'eau augmente avec l'augmentation du pourcentage de 'CNCB'.

Conclusion générale

Conclusion générale

La méthode de construction et les matériaux utilisés ont un effet crucial sur la protection de l'environnement. Cette étude s'est basée sur le développement d'un matériau nouveau qui est composé d'un mélange d'argile et des coquilles de noix de cajou broyées pour une utilisation dans l'isolation thermique des bâtiments. Cette solution offre un double bénéfice : sa grande disponibilité et elle est à bas prix.

Cependant, malgré ces avantages, il n'a pas encore été largement exploité. Notre recherche documentaire sur l'effet de l'intégration de différents types de déchets agricoles dans la production de briques en terre cuite nous a fourni des informations précieuses. D'un côté les raisons et les procédés de détérioration associés à la liaison des résidus agricoles avec l'argile, et de l'autre côté, nous avons pu recueillir une quantité maximale de données sur les méthodes de production, les divers types et les critères de briques en terre cuite fabriqués à partir de ce mélange (Argile-CNCB). Toutes ces informations nous ont incités à mener une expérience qui répond aux exigences de notre étude.

Nous avons tiré diverses conclusions, au moyen de cette étude :

- La granulométrie des argiles traitées nous a permis de les classer comme étant des Limon sableux (Texture équilibré).
- L'analyse minéralogique de l'argile a révélé qu'elle se compose essentiellement de calcite, de quartz et de kaolinite.
- L'analyse chimique de coquilles de noix de cajou broyées a révélé qu'elle se compose essentiellement de cellulose, lignine et hémicellulose.
- Suite à l'analyse thermique gravimétrique et différentielle, on a aperçu que la dégradation totale de la noix de cajou broyé, c'est à partir de 700 °C.

Les essais pratiques ont permis de découvrir l'influence du pourcentage des coquilles de noix de cajou broyées sur les propriétés techniques de la brique en terre cuite.

Donc nous avons pu en arriver aux conclusions suivantes :

En ce qui concerne les propriétés mécaniques, il a été observé que l'addition de la coquille de noix de cajou broyée a un impact négatif sur la capacité de la brique à résister à la compression. Cela conduit à une diminution de cette propriété. Néanmoins, des valeurs de résistance mécanique satisfaisantes ont été obtenues à des pourcentages faibles de CNCB (5 % et 10 %).

À propos des propriétés thermiques, nous ne concluons que la conductivité thermique diminuait avec l'augmentation de la teneur en CNCB.

On peut en conclure que les briques fabriquées avec l'addition des coquilles de noix de cajou broyées présentent des propriétés physiques, mécaniques et thermiques très satisfaisantes par rapport aux exigences spécifiées dans la norme. Cela permettra à cette brique d'être utilisée pour les façades et les bâtiments.

Notre travail s'est concentré seulement sur l'utilisation d'un seul type d'argile, mais pour les travaux futurs, il serait bénéfique d'enrichir cette étude avec d'autre type d'argile en effectuant des essais supplémentaires sur notre mélange d'argile et de coquilles de noix de cajou broyées. Cette approche permettrait d'évaluer sa durabilité et d'améliorer d'avantage sa résistance.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abakar, A, et al. 2017. *Article Scientifique caractéristiques mécaniques de l'argile de Ndjamena stabilisée par la gomme arabique.* 2017. p. 12P.

agencecofin. 2012. *agencecofin.* [En ligne] 26 9 2012. <https://www.agencecofin.com/noix-de-cajou/2609-6851-la-valorisation-des-dechets-de-noix-de-cajou-en-energie-au-burkina-faso#startOfPageId6851>.

ALVISET, Lucien . 1994. Matériaux de Terre Cuite . <https://www.techniques-ingenieur.fr>. [En ligne] 10 Mai 1994.

ARECA. 2016. Documents internes de l'Autorité de Régulation du Coton et de l'Anacarde de Côte d'Ivoire ARECA. *Ministère L'Agriculture Répub.* Côte D'Ivoire Abidj : s.n., 2016.

Audouin, Sarah. 2014. Systèmes d'innovation et territoires : un jeu d'interactions ; les exemples de l'anacarde et du jatropa dans le sud-ouest du Burkina Faso. *Thèse pour l'obtention du grade de docteur en géographie.* Paris : Ecole doctorale de géographie de Paris, UNIVERSITE PARIS I - PANTHEON-SORBONNE, 12 6 2014.

Belaïb, F. 2006. Etude expérimentale de l'effet de la l'enrobage de supports solides par des polymères conducteurs sur leur capacité de rétention des cations métalliques en solution aqueuse par adsorption. *Thèse de doctorat de l'université de Constantine- Algérie.* 2006.

Binici et kaplen. 2007. Influence of Marble and Limestone Dusts as Additives on Some Mechanical Properties of Concrete. 2007, pp. Scientific Research and Essay, 2, 372-379.

Bouktah, H. 2008. Etude comparative d'adsorption du plomb sur différent adsorbant. *mémoire de magister en chimie de l'université de Skikda-Algérie.* 2008.

Boulouza, Oualid et Grine , Abdelbasset. 2019. «Effet de l'ajout des déchets de brique sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers. *mémoire de master, université Akli Mouhend-Oulhadj - Bouira, Algérie.* 2019.

brique, fabrication de la. 2011. fabrication de la brique, Fédération Belge de la Brique. <https://www.brique.be/>. [En ligne] 4 2 2011.

Cull, J.P. 1974. Thermal conductivity probes for rapid measurement in rock. s.l. : J.Phys.E:Sci.Instrum, vol 7, pp 771-774,, 1974.

- Cultrone, G, et al. 2001.** Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. s.l. : European Journal of Mineralogy, 13(3): 621-634, 2001.
- Das, I et Arora, A. 2017.** Post-harvest processing technology for cashew apple – A review . *J.Food Eng*194, 87–98. [En ligne] 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.011>.
- Dendena, B et Corsi, S.** Cashew, from seed to market: a review. *Agron. Sustain. Dev* 34.753–772. [En ligne] <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0240-7>.
- Diatta, Marthe Tatiana. 2016.** Matières premières argileuses du Sénégal : caractéristiques et applications aux produits céramiques de grande diffusion. *Thèse de doctorat a l'université de limoges* . Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie (ED-STI), Sénégal : s.n., 23 MAI Thèse de doctorat 2016.
- Djadouf, S., et al. 2011.** Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physicomécaniques de la brique de terre cuite. 2011, pp. no. 9, pp. 3–7.
- EASTON, David et WRIGHT, Cynthia. 1996.** *La maison en pisé : redécouvrir le matériau de construction le plus ancien*. s.l. : Chelsea Green Publishing Company, 1996.
- FAOSTAT. 2014.** (accessed 7.20.17). *fao*. [En ligne] 2014. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Fatim. 2020.** Environnement / Biomasse : Les coques de noix de Cajou utilisées comme Biocarburant. *energia-africa*. [En ligne] 11 5 2020. <https://energia-africa.com/environnement-biomasse-les-coques-de-noix-de-cajou-utilisees-comme-biocarburant/>.
- G, N. 2015.** Biosourcer les matériaux de la construction, une tendance de fond. *batiactu*. [En ligne] 18 03 2015. <https://www.batiactu.com/edito/biosourcer-les-materiaux-de-la-construction-une-te-40725.php>.
- GIOVANNI, P. 2005.** La brique fabrication et tradition constructives . s.l. : edition EYROLLES , 2005.
- GORISSE, F. 1978.** Essais et contrôle des bétons. s.l., Paris : Edition Eyrolles, vol.2, 1978.
- GRAHAM, Paul McHenry. 1989.** *Adobe and rammed earth buildings*. s.l. : design and construction, 1989.
- Graham, Paul McHenry. 2001.** The owner-built adobe house. *University of New Mexico Press*. NEW MEXICO : s.n., 2001.
- HAKKOUM, Soumia. 2015.** Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla. *mémoire de magister* , UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA. OUARGLA : s.n., 2015.
- Handbook, Cashew. 2014.** Global Cashew Market Overview.pdf. [En ligne] 2014. <http://www.gambiatradinginfo.org/sites/default/files/Global%20Cashew%20Market%20Overview.pdf> (accessed 1.6.17)..

HUGO, Houben et HUBERT, Guikkaud. 2006. CRAterre. *Traité de construction en terre*. Marseille : édition Parenthèse, 2006.

JONNARD, Pierre. 2015. Rapport de développement durable, fédération française., www.jeconstruisterrecuite.com/. [En ligne] 2015.

KAHOZI, SIPILA. 2014. La fabrication artisanal de briques et conditions socio-économiques des briquetiers a Lubumbashi . *Université de Lubumbashi - Graduat en sciences économiques et de gestion*. 2014.

Khalfaoui, A et Hajjaji, M. 2009. A Chloritic-illitic clay from Morocco: Temperature-timetransformation and neoformation. . s.l., Marocco : *Applied Clay Science*, 45(1-2): 83-89, 2009.

KORNMANN, Michel. 2009. matériaux du BTP : Matériaux De Terre Cuite, www.techniques-ingenieur.fr. www.techniques-ingenieur.fr. [En ligne] 10 mai 2009.

Ladevie, B. 1998. Mise au point de dispositifs de caractérisation thermophysique de matériaux isolants solides ou pâteux, extension aux fluides cisailles. *thèse de doctorat de l'ENSAM*. Bordeaux : s.n., 1998.

LEFEBVRE, A. 1969. l'ANACARDIER, UNE RICHESSE DE MADAGASCAR. *Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer*. janvier 1969, pp. Fruits — Vol. 24, no 1 p . 43 à 64.

Lenglin, Arthur, Fleur, Tim De et Aequo, studio. 2022. LA BRIQUE HORS LES MURS. *CID - centre d'innovation et de design au Grand-Hornu*. s.l. : Globalview, 5 6 2022.

MEDERREG, Mohamed El Orabi. 2007. *FABRICATION DE TUILES ET BRIQUES EN TERRE CUITE*. s.l. : EDPme, 2007.

MEKHERMECHE , Abdessalam. 2012. Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours sahariennes. *Mémoire de Magister en Génie Civil, UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA*. 2012.

Miraucourt, D. 2017. Stabilisation du matériau terre crue pour application en brique de terre comprimée au Burkina Faso,” p. 103, [Online]. Available. [En ligne] 2017. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/2539..>

Mohdeb, Mohand Amziane. 2020. <https://neo-ceramistes.com/poterie-traditionnelle-kabyle-art-et-technique>. *NEO-CERAMISTES.com*. [En ligne] novembre 2020.

Moore, DM et Reynolds, RC. 1989. Diffraction des rayons X et identification et analyse des minéraux argileux. *Oxford University Press*. 1989, p. xvi + 322 pages.

Myrtle, Stedman et Wilfred, Stedman. 1987. Adobe Architecture Sunstone Press . 1987.

NF EN 1097-3. 1998. : essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : détermination de la masse volumique en vrac et da la porosité intergranulaire. Aout 1998.

programme-equité. la-filiere-anacarde-en-afrique-de-louest. *programme-equité*. [En ligne] <https://programme-equite.org/le-programme/les-filieres/la-filiere-anacarde-en-afrique-de-louest/>.

Riccardi, M.P, Messiga, B et Duminuco, P. 1999. An approach to the dynamics of clay firing. s.l. : Applied Clay Science, 15(3–4): 393-409, 1999.

SALEM, Aissa. 2016/2017. effet de l'activation mécanique de l'argile cuite (déchets de briques) sur le comportement mécanique du mortier. M'sila : s.n., 2016/2017.

TAGUTCHOU, Jean-Philippe et Pascale, NAQUIN. 2012. Caractérisation et traitement thermo-chimique des coques d'anacarde en vue de leur valorisation énergétique dans les procédés de transformation artisanale de noix de cajou. *DECHETS SCIENCES ET TECHNIQUES - REVUE FRANCOPHONE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE*. Lyon, France : CEFREPADE et INSAVALOR-PROVADEMSE, INSA de Lyon, LGCIE site Sadi Carnot 9 rue de la Physique 69621 Villeurbanne cedex, 2012. Vol. P29, N°62-2012.

techniques-ingenieur. matériaux du BTP : Matériaux De Terre Cuite. *www.techniques-ingenieur.fr*. [En ligne] The owner-built adobe house .

Thirion-merle et V, Valérie. 2014. Spectrométrie de fluorescence X. Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes. *Editions des archives contemporaines Univ. Lyon*. s.l. : Collection SciencesArchéologiques, 9782813001634. fihal-01393984f, 2014.

TSAMBA, A. J, YANG, W et BLASIAK, W. 2006. «Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells.». 2006, Vol. P 523-530, 87(6).

Voland, Thierry. 2018. MATIÈRES DE VILLE. *Emploi et réemploi des matériaux de construction parisiens*. Paris : Petites Leçons de Ville, 2018.

WITYNSKI, Karen et JOE, P. 2002. *Carr Adobe details*. s.l. : Gibbs Smith Publisher, 2002.

XP P13-305. 1998. *collection Mémento Rechnique tuiles et briques de terre cuite*. paris : édition le moniteur, 1998.