



**UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA - BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE**

DEPARTEMENT DES MINES ET GEOLOGIE

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Mémoire de Master

Présenté par

Salhi Malek

Thème

*Valorisation des terres décolorantes dans la
production de brique*

Soutenu le : 02 / 07 / 2015 devant le jury composé de:

Président: CHELOUAH Nacer - Maitres de conférences classe A

Examineur: AYADI Brahim - Maitre-assistant classe A

Encadreur: ARKOUB Hamid - Professeur

Année Universitaire: 2014-2015

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier mes parents qui m'ont toujours épaulé et sans qui je n'aurais pas pu achever mes études.

Je remercie mon encadreur Mr Arkoub Hamid pour la patience d'ont-il à fait preuve envers moi et la confiance qu'il m'a accordée.

Je tiens aussi à remercier mes frères et sœurs ainsi que toute la famille qui n'ont us de cesse de m'encourager.

Mes remerciements vont aussi, à tous mes amis pour leur encouragement et leur aide.

Et finalement, je remercier les honorables membres du jury pour le temps qu'ils ont bien voulu m'accorder et Pour avoir consentie à apporter un regard critique et constructif sur mon travail.

Table des matières

Remerciements	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des symboles et sigles	
Introduction générale :	01
Chapitre I : Etude bibliographique :	02
I. Introduction :	03
II. Généralités sur les argiles et mélanges de production :	04
III. Notions sur les argiles :	05
IV. Mélange de production :	05
V. Principales formes minéralogiques :	06
a. Propriétés de quelques argiles.. :	08
VI. Formation de l'argile :	09
a. Distribution granulométrique et plasticité :	10
b. Éléments dégraissants :	10
c. Éléments « porosants » :	11
d. L'eau dans les argiles :	12
VII. Plasticité de la pâte argileuse :	13
a. Propriétés rhéologiques des pâtes d'argile :	13
VIII. Techniques de fabrication et de façonnage de l'argile :	14
a. Préparation de la pâte :	14
i. Préparation sèche :	14
ii. Préparation semi-humide :	15
b. Enfossage ou pourrissage :	16
c. Opérations de Façonnage :	17
i. Traitement sous vide :	17

ii.	contrôle de l'humidité et traitement à la vapeur :.....	18
IX.	Procédés de façonnage :	19
a.	Extrudeuse (mouleuse) :.....	19
b.	Filière :.....	19
X.	Processus de séchage :	21
a.	retrait au séchage d'une argile :.....	21
b.	Aptitude au séchage d'une argile :.....	22
c.	Résistance à la fissuration :.....	22
d.	Défauts de séchage :	23
XI.	Types de séchoirs:	25
XII.	Processus de cuisson :	26
a.	Effet de la température sur les constituants :.....	26
b.	Equipement de cuisson :.....	28
i.	Four tunnel :	28
c.	Défauts de cuisson :.....	29
d.	Illustration de quelques produits de terre cuite :	31
XIII.	Conclusion :	32
Chapitre II : Analyse et caractérisation :		33
I.	Introduction :	34
II.	Matériau de base (Argile Remila) :	34
a.	Aperçu historique sur le gisement :	34
b.	Situation géographique du gisement :.....	34
c.	Géologie du gisement :.....	34
III.	Caractérisation Minéralogique et chimique de l'argile de (REMILA-Bejaïa) :	35
IV.	Caractéristiques physique et chimique des terres décolorantes :	36
a.	Terre décolorante vierge (TDV):	36
i.	le pH des terres vierge (TDV) :	36

ii.	Répartition granulométrique :	37
iii.	Composition chimique :	37
b.	Terre décolorante usagé (TDU) :	38
i.	Taux de matière grasse :	38
ii.	Perte au feu TDU :	39

Chapitre III : Préparation et caractérisation

	Physicomécanique des briques :	40
I.	Détermination des Limites d'Atterberg :	41
a.	Appareillage nécessaire :	41
i.	Pour la préparation de l'argile :	41
ii.	Appareil de Casagrande :	41
b.	Mode opératoire :	42
i.	Limite de liquidité W_L :	42
ii.	Limite de plasticité W_p :	43
c.	Indice de plasticité :	43
d.	Interprétation des résultats :	48
II.	Préparation des éprouvettes :	49
a.	Préparation des différents mélanges :	49
b.	Confection des éprouvettes :	49
III.	Phase de séchage :	50
a.	Retrait au séchage :	50
IV.	Phase de cuisson :	53
a.	Résultat et discussion :	56
V.	Masse volumique apparente :	57
a.	Mode opératoire :	57
b.	Résultat et interprétation :	58
VI.	Coefficient d'absorption d'eau :	59
a.	Mode opératoire :	60
b.	Résultat et interprétation :	60

VII. Détermination de la résistance à la compression :.....	63
a. Mode opératoire :.....	63
b. Résultat et interprétation :.....	63
VIII. Conclusion :.....	66
IX. Bibliographie :.....	68

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Influence de différents minéraux du mélange :.....	6
Tableau I.2 : Différents types d'eaux dans les argiles :	12
Tableau I.3 : Différents types de machine de préparation :.....	15
Tableau I.4 : Défauts de séchage (cause antérieure) :	23
Tableau I.5 : Défauts de séchage (liés au séchage) :	24
Tableau I.6 : Principaux défauts de cuisson :	30
Tableau II.1 : composition chimique de l'argile de Remila :	36
Tableau II.2 : résultat de mesure de (Ph, densité, humidité) sur Cinq lots de TDV :.....	36
Tableau II.3 : pourcentage des fractions granulométrique :	37
Tableau II.4 : pourcentage des différents éléments constitutifs de la TDV :	37
Tableau II.5 : taux de matière grasse mesuré sur une période d'un mois :	38
Tableau II.6 : Perte au feu échantillon de terre décolorante usée :	39
Tableau III.1 : calcul des limites de liquidité argile 0% d'ajout :	44
Tableau III.2 : calcul des limites de liquidité argile 10% d'ajout :	45
Tableau III.3 : calcul des limites de liquidité argile 20% d'ajout :	45
Tableau III.4 : calcul des limites de liquidité argile 30% d'ajout :	46
Tableau III.5 : calcul des limites de liquidité et de plasticité de l'argile à 50 % d'ajout :	46
Tableau III.6 : composition du mélange [série A 0%] :	49
Tableau III.7 : composition du mélange [série B 10%] :	49
Tableau III.8 : composition du mélange [série C 20%] :	50
Tableau III.9 : composition du mélange [série D 30%] :	50
Tableau III.10 : composition du mélange [série E 50%] :	50
Tableau III.11 : Humidités résiduelle et dimension des éprouvettes série A 0% :	51
Tableau III.12 : Humidités résiduelle et dimension des éprouvettes série B 10% :	51
Tableau III.13 : Humidités résiduelle et dimension des éprouvettes série C 20% :	51
Tableau III.14 : Humidités résiduelle et dimension des éprouvettes série D 30% :	52
Tableau III.15 : Humidités résiduelle et dimension des éprouvettes série E 50% :	52
Tableau III.16 : retrait au séchage et perte en poids au séchage :	52
Tableau III.17 : perte au feu et retrait totale série A 0% :	53
Tableau III.18 : perte au feu et retrait totale série B 10% :	54
Tableau III.19 : perte au feu et retrait totale série C 20% :	54

Tableau III.20 : perte au feu et retrait totale série D 30% :	54
Tableau III.21 : perte au feu et retrait totale série E 50% :	55
Tableau III.22 : Masse Volumique apparente des différentes séries d'éprouvette exprimée en g/cm^3 :.....	58
Tableau III.23 : pourcentage de réduction de la masse volumique apparente :	59
Tableau III.24 : Limite admissibles du coefficient d'absorption d'eau :	60
Tableau III.25 : coefficient d'absorption d'eau série A 0% d'ajout :	60
Tableau III.26 : coefficient d'absorption d'eau série B 10% d'ajout :	61
Tableau III.27 : coefficient d'absorption d'eau série C 20% d'ajout :	61
Tableau III.28 : coefficient d'absorption d'eau série D 30% d'ajout :	61
Tableau III.29 : coefficient d'absorption d'eau série E 50% d'ajout :	62
Tableau III.30 : résistance à la compression (NA 5023) et masse volumique apparente (NA 5022) des produits de terre cuite :	63
Tableau III.31 : résultat essai de compression série A 0% :	63
Tableau III.32 : résultat essai de compression série B 10% :	64
Tableau III.33 : résultat essai de compression série C 20% :	64
Tableau III.34 : résultat essai de compression série D 30% :	64
Tableau III.35 : résultat essai de compression série E 50% :	64
Tableau III.36 : pourcentage de réduction de la résistance à la compression par rapport à l'échantillon témoin :	65

Liste des figures

Figure I.1 : schéma ligne de production de brique	04
Figure I.2 : Couche tétraédrique et octaédrique	07
Figure I.3 : structure de la kaolinite (OT) et de la montmorillonite (TOT)	09
Figure I.4 : Formation des argiles selon les conditions d'environnement	10
Figure I.5 : Installation d'Enfossage	17
Figure I.6 : Schéma d'une extrudeuse (<i>mouleuse</i>)	19
Figure I.7 : Schéma de filière de briques creuses à 6 perforations	20
Figure I.8 : Structure du mélange argileux au cours du séchage	21
Figure I.9 : choir à chambres (élévation-coupe)	26
Figure I.10 : Vue d'un four tunnel et profil de température	28
Figure I.11 : Section d'un four tunnel	29
Figure I.12 : Exemple de produit de terre cuite	31
Figure II.1 : Diffractogramme de l'argile de REMILA	35
Figure II.2 : Diffractogramme de la TDU	38
Figure III.1 : appareil de Casagrande	42
Figure III.2 : Teneur en eau en fonction du nombre de choc	44
Figure III.3 : variation des limites de plasticité et de liquidité en fonction Du pourcentage d'ajout	47
Figure III.4 : Diagramme de Plasticité et classification des sols Fins	47
Figure III.5 : Evolutions de l'indice de plasticité en fonction du pourcentage d'ajout.	48
Figure III.6 : Perte au feu en fonction du pourcentage d'ajout	55
Figure III.7 : Retrait Total en fonction du pourcentage d'ajout	56
Figure III.8 : Evolution de la masse volumique apparente en fonction du pourcentage d'ajout	58
Figure III.9 : Evolution du coefficient d'absorption en fonction du pourcentage d'ajout	62
Figure III.10 : Evolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout	65

Liste des symboles et sigles

T : tétraèdres

O : octaèdres

W : (%) concentration en eau

e : (%) expansion hydrique

Sr : (%) humidité de l'air en équilibre avec l'argile

S : (KPa) succion de l'argile

IR : infrarouge rouge

PF : perte au feu

SO.MA.CO.B : société des matériaux de construction Bejaïa

CO.G.B : corps gras Bejaïa

TDU : Terre décolorante usagée

TDV : terre décolorante vierge

w_L : limite de liquidité

w_p : limite de plasticité

I_p : Indice de plasticité

Ph : masse de l'éprouvette humide

Ps : Poids de l'échantillon sec.

L_p : longueur de la brique à l'état plastique.

L_s : longueur de la brique à l'état sec.

W_p : poids de la brique à l'état plastique (juste apprêt façonnage).

W_s : poids de la brique à l'état sec.

Rs : retrait au séchage en pourcentage

M_{vi} : Masse volumique de l'éprouvette.

M_i : masse de l'éprouvette.

V_i : volume de l'éprouvette.

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

S : surface exprimée en cm².

t : temps min

C : coefficient d'absorption

N : nombre de choc

SONAREM : Société Nationale de Recherche Minière

Introduction générale :

La préservation des ressources et le développement durable sont de nos jours des sujets incontournables pour toute industrie, et l'industrie des terres cuites ne fait pas exception à la règle ; les acteurs du domaine ne cessent d'innover et d'aller de l'avant afin que cette art plusieurs fois millénaire puisse être compatible avec les exigences de notre époque que ce soit en matière d'économie d'énergie, de matériaux ou de protection de l'environnement.

Ces avancées sont d'autant plus nécessaires que les matériaux de base, à savoir l'argile, se raréfie de plus en plus avec l'avènement de techniques plus avancées qui permettent des cadences de production déroutantes, et un regain d'intérêt de la part des consommateurs.

De nos jours, de nombreuses et variées industries rejettent des déchets qui peuvent être une alternative à l'exploitation de gisement d'argile, ou tout du moins un moyen d'allonger la durée de vie de ces dernières, ou bien encore dans un autre contexte, d'augmenter la rentabilité en réduisant la charge énergétique de la production en apportant un apport calorimétrique supplémentaire.

C'est ainsi que dans les prochaines pages, nous allons essayer d'apporter une modeste contribution au vaste monde des terres cuites en associant des résidus issus du raffinage des huiles alimentaires à savoir de la bentonite, dans la production de brique.

Les avantages d'un tel ajout pourraient être substantiels, aussi bien du point de vue gain d'énergie, que caractéristiques du produit final, en effet le résidu étant très concentré en huile, on peut aisément envisager un gain sur les coûts de cuisson, de plus les huiles en brûlant libèrent des gaz qui peuvent en principe augmenter la porosité des briques, et ainsi accroître ses capacités de coupe-feu, d'isolation thermique, phonique, et réduire considérablement son poids ce qui peut constituer à l'échelle d'un édifice un gain suffisant pour envisager de rajouter un ou plusieurs étages sans risquer d'affecter l'intégrité structurale des piliers de soutènement et de l'édifice en général.

Chapitre I : Étude bibliographique

I. Introduction :

Depuis des millénaires, les matériaux de terre cuite sont exploités dans le bâtiment. Il y a bien longtemps, l'homme a utilisé dans les constructions les briques de terre séchée puis celles de terre cuite. Les ziggourats assyriennes, les remparts de Babylone, faits de briques cuites maçonneries au bitume, les thermes romains, le musée de Cluny à Paris, Sainte-Sophie et sa coupole à Istanbul, la cathédrale d'Albi, Saint-Sernin de Toulouse, le Kremlin à Moscou ou la ville de Venise ne sont que quelques exemples parmi les plus connus, en différents lieux et climats.

Ces matériaux ont su s'adapter à l'évolution de la construction et à ses impératifs, tant dans le domaine traditionnel que dans le secteur industrialisé. Il y a un siècle et demi, on a assisté au grand développement de l'utilisation de la brique dans le bâtiment industriel en combinaison avec les armatures métalliques. Plus tard, la brique s'est adaptée à la construction d'immeubles populaires de nos proches banlieues. De nos jours, elle combine les fonctions de structure, remplissage, isolation thermique et phonique, protection contre le feu, et c'est le matériau de choix de la construction individuelle dont le propriétaire apprécie les qualités de confort, de sécurité, de salubrité, de respect de l'environnement.

Les caractéristiques des produits de terre cuite leur permettent d'être employés avec efficacité dans de nombreuses parties de la construction. Ce sont essentiellement les briques, apparentes et de structure, les tuiles, les éléments pour planchers, les conduits de fumée, les carreaux rustiques, les éléments de décoration, etc.

Ces matériaux sont fabriqués à partir d'argiles communes devenant souvent rouges à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose, jaune au blanc).

Les températures de cuisson les plus usuelles sont comprises entre 900 et 1 150 °C.

Si le procédé n'a pas varié dans son principe depuis l'Antiquité, il a en pratique énormément évolué dans les années récentes pour devenir très efficace, automatisé, informatisé, capable de fabriquer un produit de grande consommation, de qualité, économique et respectueux de l'environnement.

II. Généralités sur les argiles et mélanges de production :

Le procédé de fabrication des produits en terre cuite comprend plusieurs stades (Figure I.1)

dont les principaux sont :

- ❖ l'extraction des matières premières ;
- ❖ la préparation du mélange ;
- ❖ le façonnage des produits ;
- ❖ le séchage ;
- ❖ la cuisson ;
- ❖ les traitements après cuisson

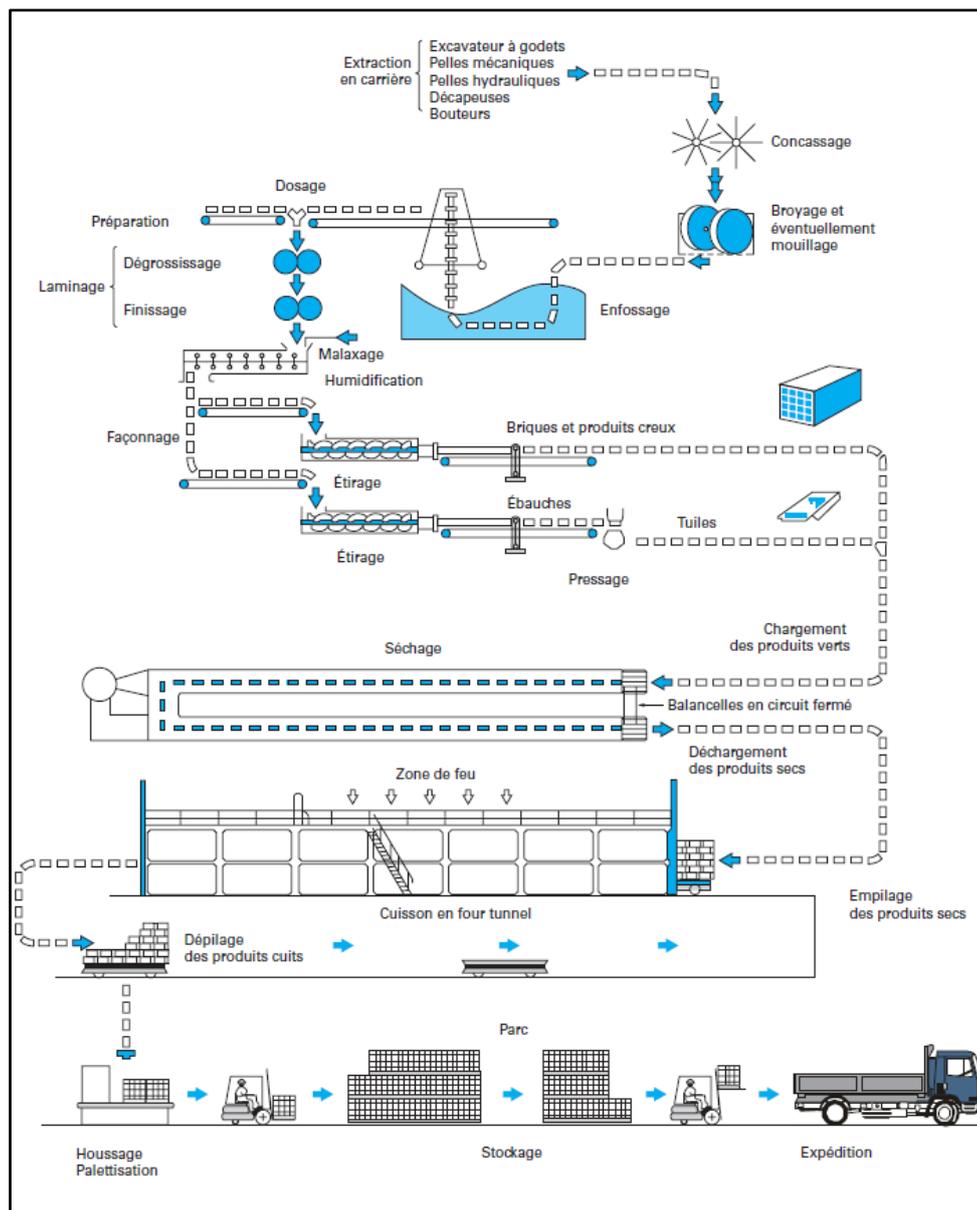


Figure I.1 : Schéma ligne de production de brique. [3]

III. Notions sur les argiles :

Les argiles sont des matériaux sédimentaires de la couche superficielle de l'écorce terrestre, obtenus par dégradation physique et altération par l'hydrolyse des minéraux des roches éruptives et magmatiques (granités et basaltes) sous l'action physique et chimique des eaux de surface. Ces résidus détritiques sont déplacés par voie glaciaire, fluviale ou éolienne et se déposent dans les bassins de sédimentation. [2]

Le terme argile vient du Grec (« Argos » = blanc), montrant que les potiers de l'Antiquité se sont d'abord intéressés à des glaises blanches ou à des argiles calcaires cuisant blanc. Ce terme est techniquement mal défini et possède différents sens qui ne se recouvrent que globalement. Il peut désigner :

- ❖ des minéraux de structures et propriétés particulières ;
- ❖ des roches argileuses composées pour l'essentiel de ces minéraux ;
- ❖ la partie la plus fine (< 2 μm) d'une analyse granulométrique d'un sol meuble, bien que des cristaux du minéral designé comme argile puissent être plus gros que 2 μm et que ceux des autres éléments, comme le quartz, puissent être plus petits.

IV. Mélange de production :

Les mélanges de production des produits de terre cuite sont préparés à base d'argiles, qui sont principalement des phyllo silicates hydratés d'aluminium. Le préfixe phyllo exprime que la forme de ces silicates est en feuillets. Ce sont des produits de la dégradation chimique des composants des roches magmatiques originelles, en particulier les feldspaths et micas des granites, selon une réaction du type :



Selon la roche d'origine, les conditions et le temps de réaction, on obtient les différentes argiles, qui deviennent de plus en plus décomposées jusqu'au quartz final. [4]

Tableau I.1 — Influence de différents minéraux du mélange [3]

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

V. Principales formes minéralogiques :

Produits de réactions électrochimiques, les argiles se présentent sous forme de très petits feuillets dont la structure est caractérisée par la superposition de deux couches (figure I.2) :

- ❖ couche tétraédrique « T » (tétraèdres d'atomes d'oxygène autour d'un atome central de silicium Si) (figure 2a) ;
- ❖ couche octaédrique « O. » (octaèdres d'ion hydroxyles OH avec, au centre, un ion aluminium Al⁺⁺⁺) (figure 2b).

Ces deux couches peuvent s'associer de différentes façons : on distingue les feuillets à deux couches (O, T) et les feuillets à trois couches (T, O, T). [2]

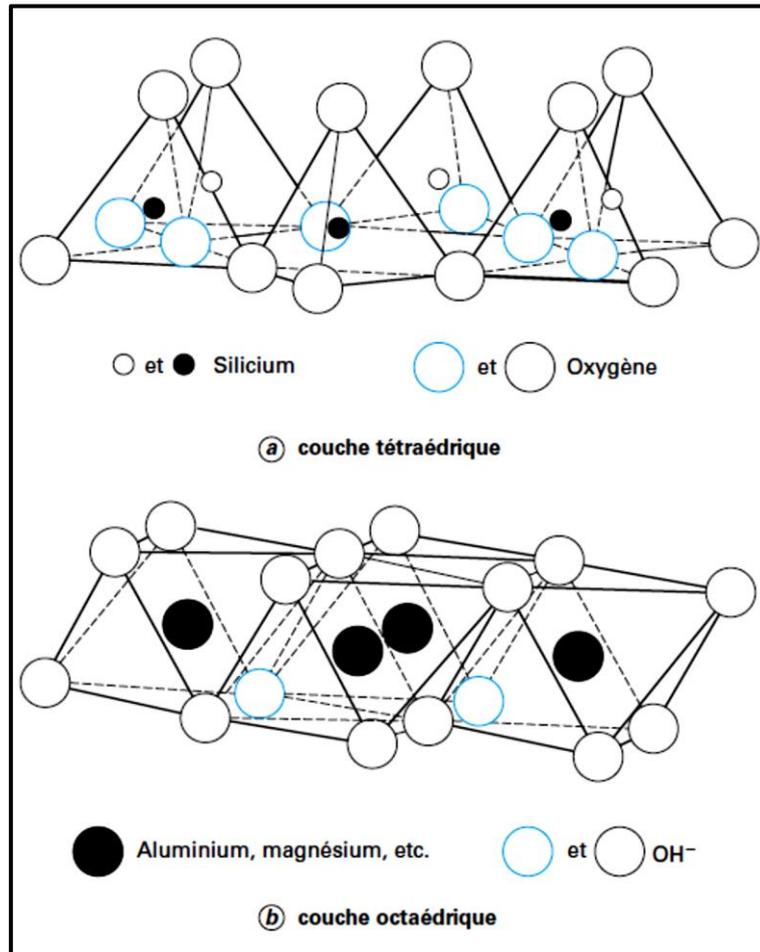


Figure I.2 : Couche tétraédrique et octaédrique. [3]

Il peut y avoir des substitutions ioniques dans la couche T (Si^{4+} est remplacé par Al^{3+}) et dans la couche O. (Al^{3+} est remplacé par Mg^{2+} ou Fe^{2+}). Ces substitutions entraînent un manque d'ions⁺, et les couches ne sont plus neutres électriquement. Pour conserver la neutralité, des cations (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , ...) vont venir s'absorber, en particulier entre les couches et les feuillets. Ces cations additionnels sont plus ou moins liés et échangeables. Certaines argiles présentent donc une capacité d'échange cationique élevée. Les molécules d'eau sont attirées par ces cations et les argiles présentent une grande capacité d'absorption d'eau, entraînant parfois une certaine expansion de la maille. [4]

Suivant l'arrangement des couches dans le feuillet et les substitutions ioniques, on obtient de nombreuses argiles dont les principales sont les suivantes :

❖ Kaolinite :

Il s'agit d'un composé simple à deux couches O-T (figure 3a). Pour associer les couches, un atome oxygène de la couche T est remplacé par un ion hydroxyle de la couche O. La composition chimique est $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Le feuillet est neutre, il n'y a pas d'absorption de cation. L'espace inter couche est vide. Il n'y a pas d'échange cationique. L'épaisseur du feuillet est constante à $7,2 \text{ \AA}$. [3]

❖ Smectite :

Il s'agit d'un groupe d'argiles à 3 couches TOT, avec différents niveaux de substitutions et de charge (0,2 à 0,6). Les cristaux sont généralement très fins.

Par exemple, dans une de ces variétés, la montmorillonite,

$(\text{Na}, \text{Ca})_{0,3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2, n\text{H}_2\text{O}$, un Al^{3+} de la couche octaédrique sur 8 est remplacé par Mg^{2+} (figure 3b). Le feuillet devient partiellement négatif et pour compenser, des cations (Ca^{2+} ou Na^+) viennent s'absorber de façon peu énergétique.

Les Smectite se caractérisent par leur capacité d'échange cationique élevée. Des molécules d'eau peuvent pénétrer entre les couches, l'argile est gonflante et l'unité structurale va varier de 10 à 21 \AA , selon la concentration en eau. Elles absorbent donc plus d'eau que les autres. [3]

❖ Illite :

Il s'agit encore d'un composé à trois couches TOT. Ici, ce sont les ions K^+ qui assurent l'équilibre électrique. Il y a une charge négative importante dans les couches, les ions sont liés de façon forte, et il y a une très faible capacité d'échange cationique. L'épaisseur de la structure est constante : 10 \AA . [3]

❖ Chlorite :

C'est aussi un feuillet à 3 couches. Ici, la couche absorbée est à base d'ions Mg^{++} hydrates et est très stable. Il s'agit presque d'une couche supplémentaire de brucite.

La structure est proche de TOT-O. La capacité d'échange est limitée et la structure demeure stable à $14,1 \text{ \AA}$. [3]

a. Propriétés de quelques argiles :

On voit que les Smectite, très fines et gonflantes, montrent des propriétés assez différentes de celles des autres argiles.

Les feuillets décrits ci-dessus sont généralement empilés les uns sur les autres pour former les cristaux d'argile, qui sont de très petites tailles, souvent en forme de plaquettes (généralement grande longueur, inférieure à $2\ \mu\text{m}$, et épaisseur, une fraction de μm). [2]

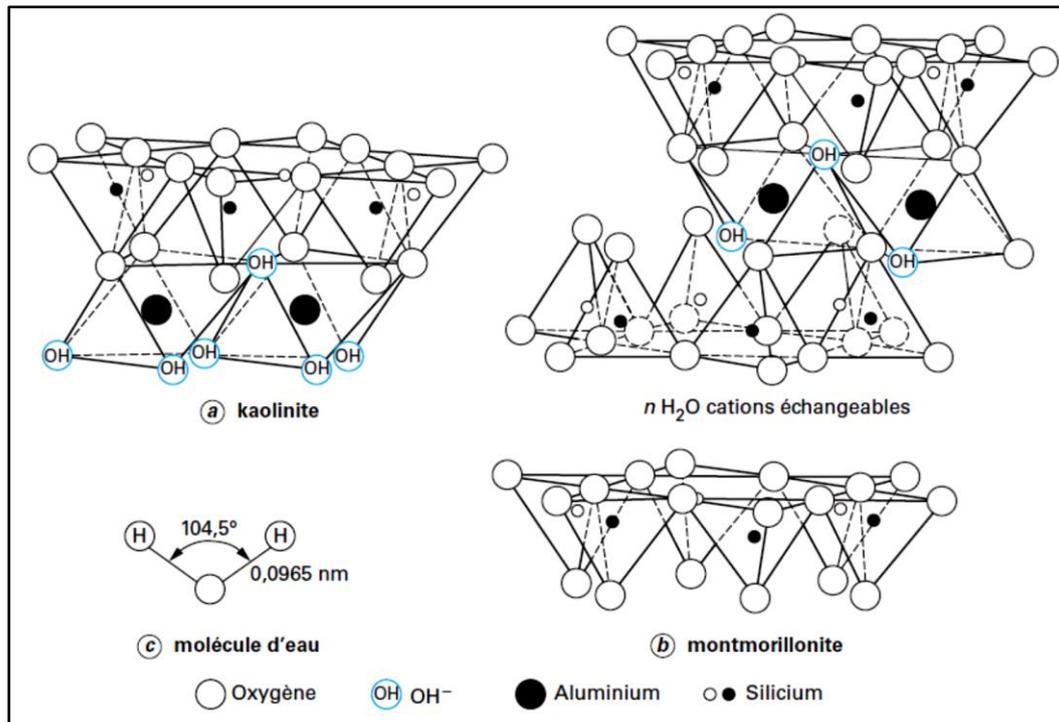


Figure I.3 : Structure de la kaolinite (OT) et de la montmorillonite (TOT). [3]

VI. Formation de l'argile :

Les argiles sont des matériaux détritiques issus de la réaction : silicates parentaux primaires (quartz, feldspaths, pyroxène, amphibole...) + eau de percolation \Rightarrow silicates stables (quartz) ou incomplètement altérés (feldspaths) + minéraux secondaires (minéraux argileux et hydroxydes de Fe et Al) + solutions enrichies en ions.

Suivant la roche mère initiale (basique ou acide), les conditions d'environnement comme le climat (chaud et humide avec forte hydrolyse ou non), et la topographie (cuvette ou sommet) qui commande le drainage, les géologues montrent que les types d'argile produits par cette réaction varient (Figure I.4). [4]

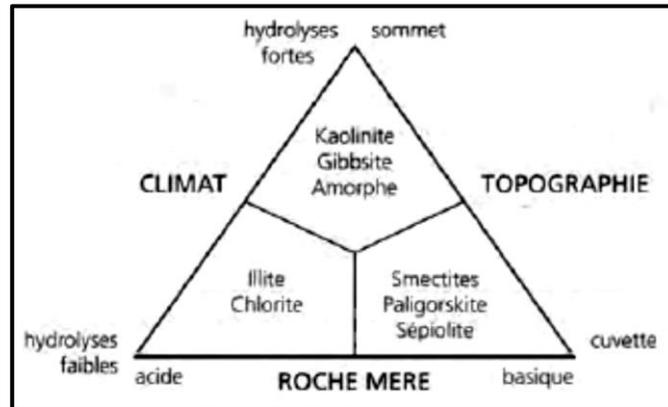


Figure I.4 : Formation des argiles selon les conditions d'environnement. [2]

a. Distribution granulométrique et plasticité :

Les propriétés de bonne plasticité et de forte absorption d'eau sont liées à la fraction de la granulométrie inférieure à 2 μm , qui représente réellement la fraction argileuse.

Une forte classe $<2 \mu\text{m}$ donnera une plasticité importante avec en contrepartie, une forte humidité de façonnage et des problèmes au séchage dus au fort retrait. Une faible classe $<2 \mu\text{m}$ donnera le contraire (faible plasticité, faible humidité de façonnage, faible retrait). [6]

b. Éléments dégraissants :

Souvent, les argiles naturelles présentent une plasticité excessive, ce qui entraîne des difficultés de fabrication (forte eau de façonnage, séchage lent et retrait de séchage important). Il est alors nécessaire d'ajouter des éléments inertes, appelés « dégraissants ». Ils sont « non plastiques », n'induisent pas de variations dimensionnelles au séchage. Souvent ils sont inertes jusqu'à haute température. Ils donnent aux produits une texture moins compacte, ce qui facilite l'évacuation de l'eau pendant le séchage et les dégagements gazeux pendant la cuisson. Ils permettent aussi une meilleure oxydation à cœur des produits en limitant l'apparition de « cœur noir ». Par contre, ils diminuent la plasticité, la compacité et les propriétés mécaniques après cuisson.[2]

Les éléments dégraissants le plus couramment utilisés sont décrits ci-dessous :

- ❖ Le sable, de granulométrie de 0,2 à 1 mm, exempt de calcaire, à des doses pouvant atteindre 30 % au maximum ; le sable est généralement constitué de silice quartzuse plus ou moins pure et parfois de feldspaths et mica. Le quartz est stable thermiquement mais subit des transformations allotropiques (point quartz à 573 °C), responsables de

casse des produits au refroidissement. Les sables feldspathiques et micacés ne présentent pas cette transformation allotropique. De plus ils peuvent présenter une action défendant quand leur teneur est importante en éléments alcalins et qu'ils peuvent former des eutectiques ;

- ❖ la chamotte : on désigne sous ce terme de l'argile déjà cuite qui provient le plus souvent du broyage des déchets de cuisson (casson) ; cet ajout est fréquemment effectué pour la fabrication de boisseaux de terre cuite ; en effet, pour ces produits, une texture grossière a pour conséquence une baisse de la dilatation thermique et donc une amélioration de la résistance au choc thermique. Si cette chamotte est stable à la température de cuisson, elle va diminuer le grésage, augmenter la stabilité dimensionnelle et favoriser la production de produits plus poreux ;
- ❖ les cendres volantes de centrales thermiques alimentées au charbon pulvérisé ;
- ❖ les laitiers granulés de hauts fourneaux ;
- ❖ des éléments partiellement combustibles tels que le mâchefer, le fraisil, les schlamms (résidus de lavage des charbons). Leurs effets ressemblent à celui de la chamotte, avec un petit effet combustible additionnel ;
- ❖ des roches dures broyées (basaltes, micaschistes...). Suivant la température de fusion de la roche, l'effet sera celui de la chamotte ou provoquera un grésage.

c. Eléments « porosants » :

De plus en plus, les fabricants de briques cherchent à diminuer la conductivité thermique de leurs produits pour obtenir des résistances thermiques de mur élevées. Un des moyens disponibles est d'augmenter la porosité du tesson.

Il existe énormément de types d'ajout qui augmentent la porosité et notamment l'ajout de composés organiques qui vont se décomposer, brûler et finalement dégager du CO₂. On trouve de nombreux produits, qui se différencient par leur granulométrie, leur pouvoir combustible, leur pouvoir gazogène, leur taux d'humidité, la quantité et la composition des cendres résiduelles, la zone de température d'oxydation et son étendue, la nature des émissions...

Les additifs les plus importants sont les sciures et écorces de bois, les déchets végétaux (paille...), le papier, le polystyrène expansé, les déchets organiques (boue de papeterie, de brasserie, de tannerie, de station d'épuration...), la poudre de charbon, les cendres de combustion non entièrement oxydées...

La concentration maximale d'additions porosantes est cependant limitée par la baisse associée

des propriétés mécaniques de la brique. Dans le cas des additions organiques, il devient difficile de contrôler la cuisson dans le four quand le mélange est trop chargé en matière organique combustible avec un haut pouvoir combustible ; la charge possède alors un pouvoir combustible trop proche de la quantité d'énergie nécessaire à la cuisson, et la cuisson peut donc s'emballer.[8]

d. L'Eau dans les argiles :

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

Tableau I.2 – Différents types d'eaux dans les argiles

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

VII. Plasticité de la pâte argileuse :

L'une des propriétés caractéristiques des argiles est leur plasticité. La plasticité de la pâte argileuse permet de réaliser de grandes déformations sans perte de cohésion. Elle implique l'existence d'une contrainte limite (limite élastique d'écoulement) en dessous de laquelle la pâte n'est pas déformée. Au-dessus de cette limite, la déformation est grande et sans durcissement important. C'est l'existence de ce seuil qui fait que la pâte d'argile garde sa forme sous son poids.

La plasticité est à la fois une propriété très importante mais très complexe car elle est la conséquence de plusieurs facteurs : la déformation, la ténacité et la cohésion.

On considère habituellement que la plasticité est aussi associée aux particules de taille colloïdale de l'argile.

S'il y a plus d'eau que nécessaire pour saturer les liaisons de surface, le déplacement est aisé. S'il n'y a pas assez d'eau, les particules se touchent directement et les propriétés plastiques disparaissent. La plasticité dépend donc de l'eau disponible et de la surface à mouiller (liée à la taille des grains). [4]

a. Propriétés rhéologiques des pâtes d'argile :

La plasticité est influencée par de nombreux paramètres : concentration en eau, nature de l'argile, finesse et granulométrie (plus elle est fine, plus elle est plastique), forme des grains, surface et orientation des particules, agrégation des particules, concentration en éléments inertes (sable, etc.), présence de sels...

En partant d'une argile sèche et en rajoutant de l'eau petit à petit, on atteint une première concentration où l'argile devient plastique. En continuant l'ajout d'eau, on atteint une deuxième concentration limite où le mélange devient liquide (barbotine). Ces deux valeurs sont dites « limite de plasticité » et « limite de liquidité » d'Atterberg. La limite de plasticité de quelques argiles pures se trouve ainsi dans la zone 17/35 %, la limite de liquidité dans la zone 27/80 % (eau par rapport à la masse sèche).

Pour une concentration intermédiaire, on atteint la pâte dite « normale », c'est-à-dire bien cohésive, déformable à la main, ne collant pas au doigt et qu'un technicien exercé reproduit assez facilement. [2]

VIII. Techniques de façonnage et de fabrication des briques :

Le façonnage du produit comprend deux étapes, la préparation de la pâte, et la mise en forme qui se réalise principalement par extrusion pour la brique et certaines tuiles.

a. Préparation de la pâte :

Les rôles de l'étape de préparation de la pâte sont multiples et importants :

- ❖ éliminer les cailloux et les impuretés ;
- ❖ émietter les argiles et obtenir la granulométrie souhaitée ;
- ❖ doser les composants et former les mélanges ;
- ❖ homogénéiser et humidifier ces mélanges en vue d'obtenir la bonne plasticité de la pâte.

On peut travailler en conditions sèches, semi-humides ou humides. Le choix se fait selon l'humidité de l'argile de la carrière, le procédé de mise en forme, la qualité recherchée du mélange et particulièrement sa granulométrie.

La préparation sèche s'applique aux argiles jusqu'à des humidités de 10 %, la préparation semi-humide entre 10 et 30 % et la préparation humide avec des produits jusqu'à 40 % d'humidité. [5]

i. Préparation sèche :

La préparation sèche est très développée dans certaines régions sèches, car il y est souvent possible d'obtenir des argiles sèches directement à la sortie de la carrière. Cette préparation présente de nombreux avantages car il est possible d'obtenir des granulométries très fines : les particules sèches s'effritent alors que les particules plus humides s'écrasent par déformation plastique. Ainsi on peut atteindre industriellement des granulométries maximales de 150 μm , soit quatre à cinq fois meilleures que celles données par les préparations semi-humides. On peut rappeler que c'est la taille typique pour la préparation de la matière première du mélange du ciment avant cuisson.

Un tel niveau de granulométrie assure :

- ❖ une grande homogénéité du produit ;
- ❖ une grande qualité de peau et un bel aspect esthétique ;
- ❖ un frittage à plus basse température ;
- ❖ une résistance mécanique améliorée.

Cette préparation sèche est particulièrement intéressante pour les argiles calcaires car, une très fine granulométrie permet d'éviter les grains de chaux. [2]

ii. Préparation semi-humide :

En travaillant en condition semi-humide avec des pâtes. Les mélanges de façonnage peuvent être de consistances assez diverses, aussi les types de machine utilisés sont-elles nombreuses.

On utilise généralement plusieurs équipements successifs. Comme on écrase des grains plastiques et qu'on ne les effrite pas, il n'est pas possible d'avoir des rapports de réduction des diamètres de particules obtenus à chaque étape supérieurs à environ 3. On obtient donc les diamètres de particules typiques suivant :

- broyeur à meules : 10 mm ;
- broyeur à cylindres dégrossisseur : 3 mm ;
- broyeur à cylindres finisseur : 0,8 mm

Tableau I.3 : Différents types de machine de préparation. [2]

Opération	Appareil
Concassage	Brise-mottes cylindrique, Trémie brise-mottes (argile sèche), Désagrégateur.
Dosage - distribution - dosage	Distributeur doseur linéaire, Distributeur rotatif à plateau.
Suppression des impuretés - par élimination - par broyage	Épierreur à cylindre à gorge, Épierreur conique, Malaxeur filtre, Broyeur épurateur. Voir case suivante.
Broyage - broyage préparatoire - laminage	Broyeur à meules, Broyeur à cylindres dégrossisseur, Broyeur à cylindres finisseur.
Broyage-malaxage - broyage grossier - malaxage et mélange	Malaxeur à tamis à axe horizontal, Malaxeur à tamis à axe vertical.
Malaxage Homogénéisation et mouillage	Mouilleur mélangeur à deux arbres. Malaxeur vertical.

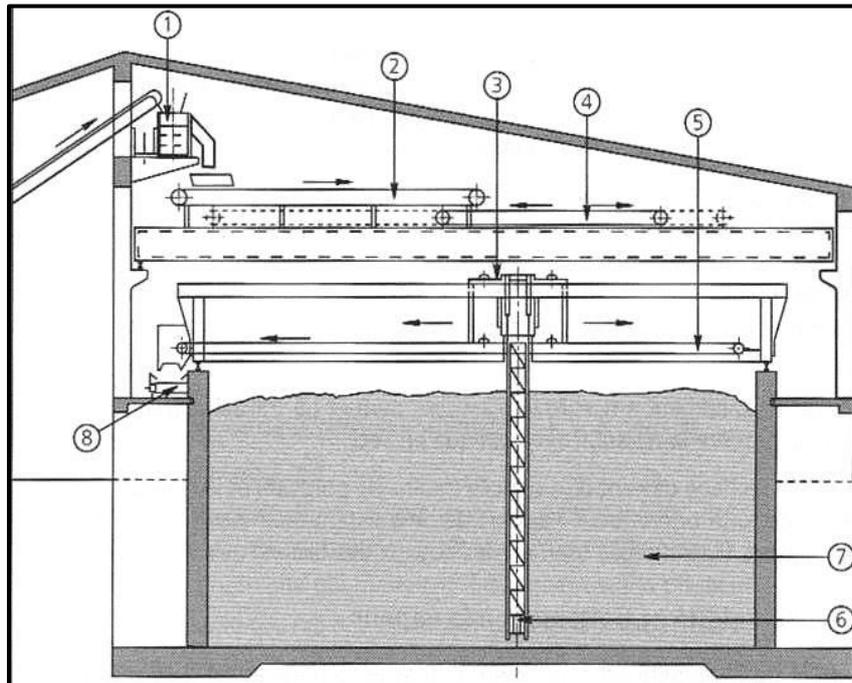
b. Enfossage ou pourrissage :

On pratique souvent l'Enfossage intermédiaire, ou ensilage, encore appelé aussi injustement pourrissage. Cette opération consiste à stocker l'argile ayant déjà subi un début de préparation, contenant une partie de son eau de façonnage, et partiellement aérée, pendant une certaine durée (quelques jours à quelques semaines) dans des fosses ou silos de stockage. La préparation de la pâte est alors réalisée en deux étapes (concassage/broyage puis malaxage/laminage) avec cet Enfossage intermédiaire.

Les buts de l'Enfossage sont :

- ❖ l'homogénéisation de l'humidité du mélange ;
- ❖ l'amélioration de l'uniformité de sa composition. Comme le tas de stockage annuel, ce stockage permet d'accroître à nouveau l'homogénéisation des compositions par des dépôts horizontaux dans la fosse avec des reprises verticales. Ce stockage intermédiaire est réalisé dans une installation de stockage couverte avec les moyens de manutention adaptés;
- ❖ la formation d'un stock de production qui permet d'en améliorer la régularité ;

On note parfois une action plastifiante additionnelle de l'Enfossage. Elle serait liée à l'oxydation, dégradation biologique de la matière organique présente et à la formation d'acides organiques qui modifieraient le pH et changeraient les conditions électrostatiques autour des micelles d'argile. D'où le nom de pourrissage. Un pourrissage complet dépend de la matière organique, de la température et peut demander un temps très long (quelques semaines à quelques mois). Pour des raisons économiques, l'enfossage intermédiaire est généralement plus court que le temps de pourrissage optimal et l'amélioration de la plasticité quand elle a lieu, est limitée. [2]



- 1 -Bande d'alimentation générale
- 2 -Bande fixe sur le pont de charge
- 3 -Excavateur mobile sur le pont de charge
- 4 -Bande mobile et alternative de distribution
- 5 -Bande de réception de l'excavateur
- 6 -Bras mobile de l'excavateur
- 7 - Mélange
- 8 Recueil du mélange

Figure I.5 Installation d'Enfossage. [2]

c. Opérations de Façonnage :

Le façonnage a essentiellement deux rôles :

- ❖ donner à la pâte une cohésion suffisante. La cohésion, partiellement développée par la préparation, est parachevée grâce à l'élimination de l'air occlus dans l'argile (désaération), à l'amélioration de la plasticité par un mouillage additionnel, par une injection de vapeur d'eau sous pression et par une intensification de la compression de la pâte ;
- ❖ donner à l'argile la forme désirée. Les produits creux sont obtenus par le passage du mélange argileux au travers d'une filière ; certaines tuiles sont pressées et les briques dites « moulées main » sont réalisées par moulage « soft mud ».

i. Traitement sous vide :

La désaération de la pâte par mise sous vide avant son passage dans l'extrudeuse finale a pour but de diminuer la porosité du produit, d'améliorer la plasticité et de donner une plus grande cohésion qui facilite le passage au travers de la filière. En effet les bulles d'air présentes dans le mélange sont écrasées durant l'extrusion, se retrouvent comme des disques allongés et aplatis dans le colombin d'argile et favorisent l'apparition de défauts.

Le traitement sous vide limite ces porosités mais il n'est efficace que si les particules d'argile ne sont pas trop grosses (particules fragmentées, aplaties), si l'air peut diffuser rapidement dans la matière (capillaires disponibles) et si le temps de séjour est suffisamment long. La pression totale de l'atmosphère est limitée par la tension de l'eau à la température. Une partie de l'humidité de l'argile est donc pompée et une partie de la chaleur de condensation reprise.

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

Par contre le séchage devient plus difficile (moins de porosité) et la résistance au gel a pu être diminuée si le vide et/ou si l'apport de dégraissant était insuffisant. Parfois aussi le recollement des filets d'argile (derrière les noyaux des filières) devient plus difficile. [4]

ii. Contrôle de l'humidité et traitement à la vapeur :

Le contrôle de l'humidité est fondamental dans le façonnage car il assure la constance des propriétés mécaniques du mélange. L'humidité initiale peut varier en fonction de la position de la terre dans la carrière, des conditions de stockage, des conditions atmosphériques. Quand c'est possible, on rajoute généralement de l'eau au mélange final. L'humidité est mesurée directement en continu par des capteurs capacitifs, ou de façon indirecte par la mesure de la puissance électrique instantanée de la mouleuse. On travaille généralement avec des concentrations d'eau entre 15 et 30 %.

Depuis une quarantaine d'années, une nouvelle technique de mouillage est apparue qui consiste à ajouter au mouilleur mélangeur, juste avant l'étireuse, non pas de l'eau froide, mais de la vapeur sous pression (de 200 à 700 kPa). On emploie de la vapeur saturée ou surchauffée. On peut alors chauffer l'argile par la chaleur de condensation (environ 2 500 kJ/kg) en limitant l'augmentation d'humidité. La quantité de vapeur ajoutée est de 40 à 50 kg pour 1 t d'argile (entraînant une augmentation de l'humidité de 4 à 5 %). On peut de la sorte étirer des pâtes à des températures variant de 60 à 90 °C, ce qui améliore considérablement la plasticité et l'uniformité dans la mouleuse. Si le séchage suit immédiatement l'extrusion, la haute température le facilite.

Cette technique n'est pas utilisable pour les mélanges trop humides ; l'ajout d'eau, sous forme de vapeur, conduirait à des pâtes trop molles et à des déformations de produits. [5]

IX. Procédés de façonnage :

En terre cuite, on utilise principalement deux procédés : le filage (moulage ou extrusion) et le pressage, nous on s'intéressera surtout au filage.

a. Extrudeuse (mouleuse) :

Un schéma d'une extrudeuse (appelée aussi « mouleuse » dans la profession) est montré à la (figure I.6). Après le dernier mouillage, l'argile est propulsée à l'aide d'hélices, ou de pales, à travers une grille dans la chambre à vide où s'opère la désaération.

On retrouve les étapes de préparation décrites précédemment (désaéragage et mouillage). Les morceaux d'argile sont repris par la grande hélice rotative, compressés à nouveau, mis sous forte pression, poussés vers la bouche de l'extrudeuse et extrudés à travers la filière. Le tout est actionné par des moteurs électriques au moyen de transmissions.

L'argile se déplace le long de la vis comme un boulon dont l'orientation est fixe sur une tige filetée en rotation. En pratique, il y a des reflux : l'extrudeuse n'est donc pas une machine volumétrique son rendement volumétrique n'est que de 30 à 60%. [2]

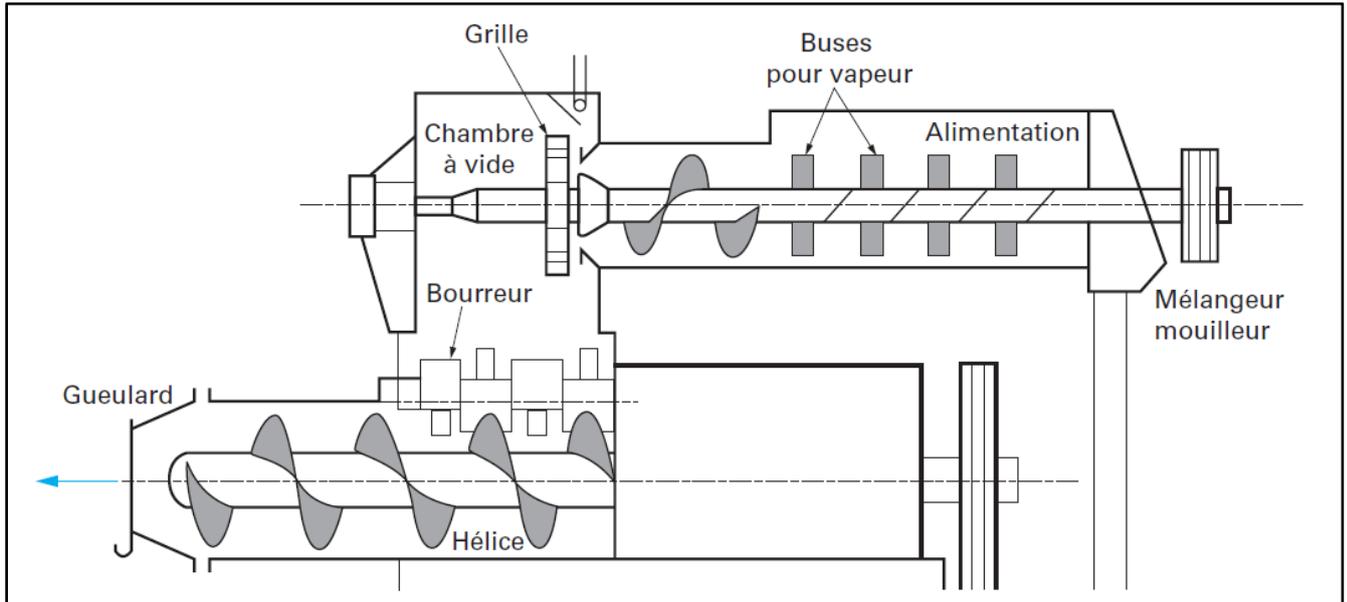


Figure I.6 : Schéma d'une extrudeuse (mouleuse). [3]

b. Filière :

La filière est la pièce à l'extrémité de l'extrudeuse à travers laquelle la pâte d'argile est poussée et qui donne au produit sa forme définitive. Sur la figure 7, on montre un schéma de

filière pour produits creux. Les perforations sont réalisées par des noyaux fixés sur des tiges à des étriers transversaux internes. Le flux d'argile tourne autour de ces étriers et tiges et se ressoude derrière, avant la filière.

Si la filière d'une brique à 6 perforations, avec ses 6 noyaux, est assez simple, les filières pour briques thermiques comprenant plus d'une centaine de perforations deviennent très complexes.

Pour éviter des déformations et l'apparition de fissures aux stades ultérieurs de la fabrication, tous les filets d'argile doivent sortir de la filière à la même vitesse. Ce réglage, qui s'appelle l'« équilibrage », constitue une opération délicate conditionnant la qualité des produits. Elle est réalisée grâce à des freins de filière, petits inserts qui peuvent être introduits plus ou moins profondément dans la filière pour freiner localement le flux du mélange argileux.

La filière, avec ses noyaux, doit être assez rigide pour ne pas se déformer sous la pression. Elle a une durée de vie limitée ; les noyaux s'usent et les parois de la brique grossissent avec le temps jusqu'à leur changement. [2]

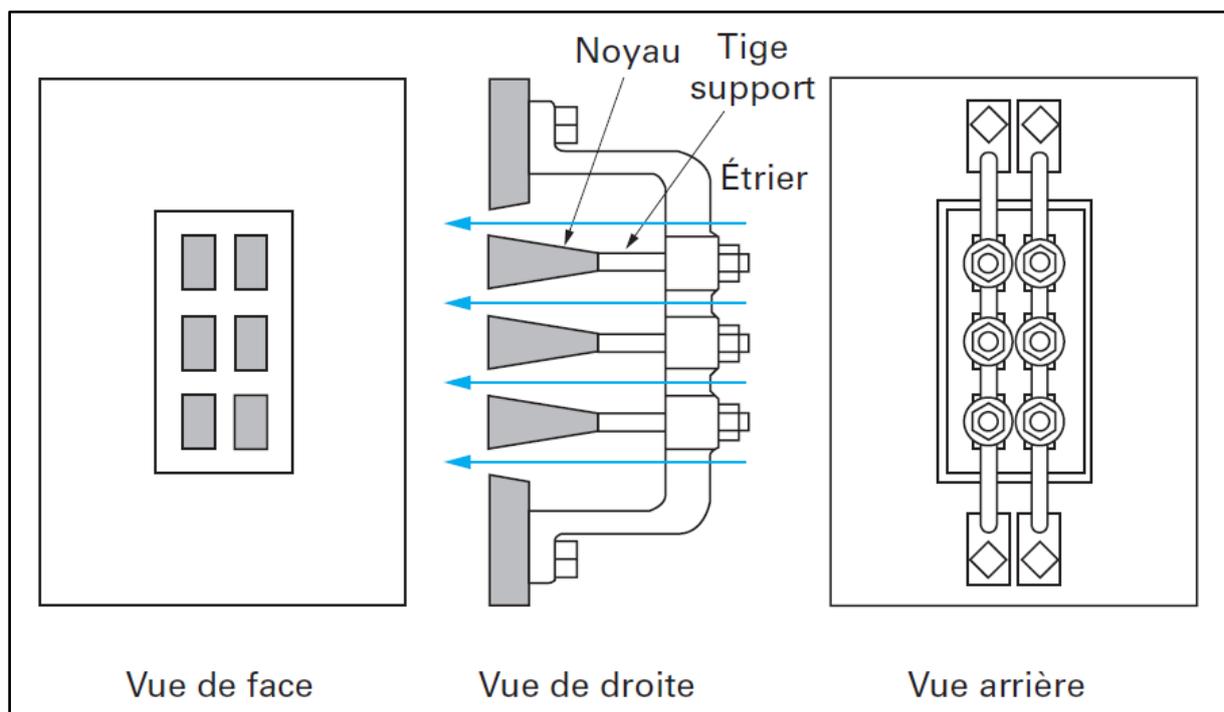


Figure I.7 : Schéma de filière de briques creuses à 6 perforations. [2]

X. Processus de séchage :

Les produits ont été façonnés avec une teneur en eau de 15 à 30 % (chiffres exprimés en % par rapport au poids sec). Il est nécessaire, avant de les soumettre à la cuisson, d'éliminer la plus grande partie de cette eau : c'est l'opération de séchage. Après leur passage dans le séchoir, les produits ne contiennent plus que 1 à 2 % d'eau résiduelle.

Le séchage est une phase délicate et importante de la fabrication qui doit être menée judicieusement si l'on veut obtenir des produits de qualité. [5]

a. retrait au séchage d'une argile :

Lorsqu'un mélange argileux très humide est soumis à un séchage très lent de façon que l'humidité reste uniforme dans l'échantillon, on observe un changement de la structure du mélange : les particules élémentaires, primitivement dispersées dans l'eau (état A de la figure ci-dessous), tendent à se rapprocher de plus en plus puis à s'imbriquer, ce qui entraîne d'une part un retrait, et d'autre part une consolidation ou prise de cohésion. [2]

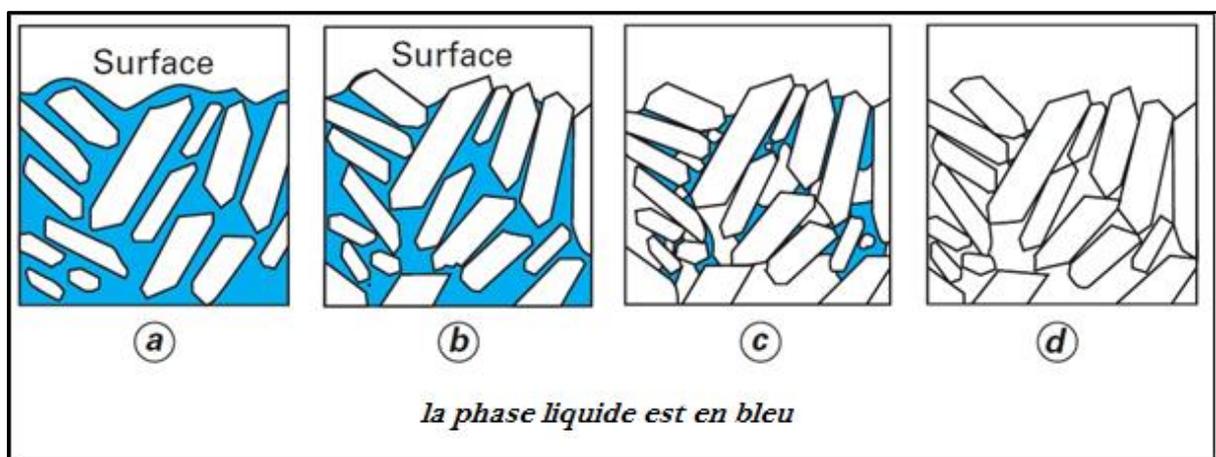


Figure I.8 : Structure du mélange argileux au cours du séchage. [3]

Lorsque les particules sont en contact, il reste encore de l'eau entre elles (état C), qui continue à s'évacuer alors qu'il ne se produit plus de retrait dans la pièce.

Ces phénomènes sont illustrés sur la figure ci-dessus, où le retrait du volume de l'argile et le volume d'eau retiré sont tracés en fonction du temps. Selon la représentation de Bourry, on distingue trois phases :

- ❖ la première consiste à retirer l'eau autour des particules et le volume de retrait de l'argile correspond au volume de l'eau retirée. L'eau qui part au cours de la première phase (avec retrait) est l'eau colloïdale;

- ❖ puis des particules viennent en contact et le retrait diminue ; le départ de l'eau devient partiellement compensé par la création de porosités. Cette phase dépend de l'arrangement des particules qui se crée et est typique de chaque mélange. En particulier l'espace est plus ou moins rempli selon la répartition des granulométries et les particules sont plus ou moins organisées selon le mélange et les conditions du façonnage.

b. Aptitude au séchage d'une argile :

L'aptitude au séchage est caractérisée par la possibilité d'obtenir une faible humidité résiduelle après séchage.

Si on veut obtenir au final un produit très sec, il faut l'exposer et le conserver dans une atmosphère très sèche. Suivant les argiles, il faut des atmosphères plus ou moins sèches selon l'isotherme d'adsorption.

Le séchage est un phénomène réversible. Si on expose des produits secs à une atmosphère humide, ils vont reprendre de l'humidité. A la sortie du séchoir, le produit sec tendra à réabsorber de l'humidité jusqu'à cette concentration d'équilibre.

On peut donc connaître les humidités finales des produits que l'on peut obtenir dans un séchoir avec un air d'humidité donnée. De façon pratique, les humidités résiduelles absorbées doivent au moins être inférieures à l'humidité d'interposition où le retrait s'arrête. Ce n'est cependant pas suffisant : quand les pièces vont rentrer dans le four et être chauffées rapidement, l'eau résiduelle absorbée peut s'évaporer rapidement et la pression de la vapeur peut endommager les produits. On recherche donc des teneurs en humidité plus faibles.

De façon réciproque, on peut voir si une argile sèche risque ou non de reprendre beaucoup d'eau pendant une exposition à l'atmosphère.

c. Résistance à la fissuration :

Jusqu'à présent, on a parlé de l'aptitude au séchage sans faire intervenir le paramètre pratique le plus limitatif du séchage : la formation de fissures de séchage quand le séchage est trop rapide.

Quand on sèche trop vite, on produit de forts gradients d'humidité et donc de forts gradients de volume spécifique, d'où des contraintes de séchage importantes. L'argile peut ou ne peut pas résister à ces contraintes car ses propriétés mécaniques changent elles aussi au cours du séchage.

Au cours des premières périodes de séchage, le matériau perd sa plasticité mais se renforce.

Pendant la troisième période de séchage (sans retrait), le matériau se renforce encore. Avec des résistances à la flexion de 1 à 2 MPa à la fin du départ de l'eau colloïdale avec 10 % d'humidité, il se renforce jusqu'à 6 à 12 MPa lorsqu'il est complètement sec.

Quand l'argile ne peut plus résister aux contraintes de séchage, elle se fissure. On peut aussi définir l'aptitude au séchage comme la résistance à la fissuration sous les contraintes des déformations de séchage. Suivant sa nature, l'argile présente plus ou moins de résistance. Une argile très grasse possède de bonnes propriétés mécaniques mais présente un fort retrait et se fissure. Une argile très dégraissée a moins de retrait mais aussi moins de résistance mécanique et elle se fissure aussi. Un optimum est généralement à rechercher entre les deux extrêmes. [3]

d. Défauts de séchage :

On indique ci-dessous quelques défauts qui sont rendus apparents au moment du séchage. Certains des défauts, mis en évidence après le séchage, ont une cause antérieure, d'autres Proviennent réellement du séchage :

Tableau I.4 : Défauts de séchage (cause antérieure). [2]

Manifestations	Causes probables	Remèdes
Cloquage : cloques en surface	Poche d'air formée à l'étirage. Texture fine	Chamottage, désaération
Voilage : défaut de planéité de tuiles	Pressage hétérogène entraînant un retrait hétérogène	Conception de la tuile et des moules
Fente rectiligne en long, d'épaisseur régulière, sur tous les produits	Mauvais recollement après les étriers porte-noyau	Recul de l'étrier, modification de la forme de l'étrier
Fentes curvilignes en S, visibles en particulier sur la face de coupe de produits pleins	Mauvais recollement après l'hélice, argile trop fine	Allongement de la bouche. Couteaux antivissage. Dégraissage
Coupes concaves ou convexes : déformation du produit en ballon de rugby	Différences de pression dans la filière entraînant des différences de retrait	Équilibrage de la filière. Contrôle de l'uniformité de l'humidité
Déformation de manutention	Humidité de façonnage trop importante, brutalité des mouvements	Réglages adéquats

Tableau I.5 : Défauts de séchage (liés au séchage). [2]

Manifestations	Causes probables	Remèdes
Déformation du produit à l'entrée par absorption d'humidité	Condensation de l'air humide sur les produits froids entrant	Filage à chaud, changement des paramètres de l'air d'entrée
Fentes ouvertes en long, en général du côté d'attaque de l'air	Air à pouvoir séchant trop élevé en début de séchage, extraction insuffisamment saturée	Diminution du pouvoir séchant de l'air en début de traitement
Fentes diverses (obliques, et transverses) sur toute la périphérie	Trop fort gradient d'humidité dans le produit. Superposition des zones de séchage	Retarder la zone de séchage rapide, Améliorer l'homogénéité
Produits sortant trop humides, écaillage à l'entrée du four	Tesson trop fin	Augmenter la température de fin de séchage, diminuer le tonnage séché
Produits sortant trop secs, formation de microfissures sur certaines argiles	Reprise d'humidité créant des variations dimensionnelles	Diminution de la température et du pouvoir séchant en fin de séchage
Résultats irréguliers dans le temps, apparition irrégulière de déchet, Humidité résiduelle variable	Alimentation en produits irrégulière, régulation thermique défectueuse	Bonnes régulations
Fentes en long ouvertes d'épaisseur décroissante, apparaissant n'importe où à partir de la périphérie	Vitesse de séchage trop importante. Prise de retrait trop rapide en première phase	Diminution de la vitesse des produits. Augmentation de la longueur du séchoir. Amélioration du mélange
Microfissures	Vitesse de séchage non adaptée	Idem précédemment
Baisse des performances mécaniques du produit cuit	Séchage trop rapide. Microfissures	Idem précédemment
Hétérogénéité de séchage dans la section, Anomalie de séchage toujours au même endroit	Apport calorifique mal conçu. Hétérogénéité des ventilations	Modification des ventilations
Hétérogénéité de séchage sur le produit, Tache d'humidité en surface	Manque de ventilation à l'endroit considéré	Changement des ventilations. Position. Vitesse de l'air
Fentes transversales à l'arrivée de la ventilation, à l'arrière des supports par rapport à l'air	Perturbation de la ventilation par les supports	Forme plus adaptée des supports
Fentes transversales au niveau des supports, le long des arêtes des supports	Supports hygroscopiques retardant localement le séchage	Nature des supports
Déformations, Produits gauches	Supports gauches	Rectifier les supports
Efflorescences : taches blanches en sortie de séchoir, sauf à l'emplacement des supports	Présence de sels solubles comme CaSO ₄ dans la matière première, drainés en surface au séchage. Emploi de combustibles contenant du soufre	Ajout de carbonate de baryum

XI. Types de séchoir :

Depuis que le séchage naturel sous des hangars (séchoir hâlette) a été abandonné, car trop lent et peu reproductible, le séchage est effectué en atmosphère artificielle ventilée et contrôlée. La durée de l'opération est très variable (de 1 à 72 h) et dépend de l'argile, du type de produits fabriqués et du séchoir. Les longues durées de

Séchage sont imposées par :

- les parois très épaisses ;
- les formes complexes ;
- le séchage de plusieurs produits différents dans le même séchoir ;
- l'utilisation d'argile très humide et/ou présentant de forts retraits.

On distingue deux groupes de séchoirs :

- ❖ **séchoirs statiques discontinus ou séchoirs à chambres** (figure I.9) (temps de séchage de 12 à 72 h).

Les produits à sécher sont introduits dans une chambre dans laquelle on va réaliser le cycle de séchage.

Un certain nombre de chambres fonctionnent en parallèle pour assurer la production et ne pas trop intervenir sur le réglage du four qui fournit une grande partie de l'énergie.

Ces équipements sont très flexibles, mais les coûts de manipulation des produits et les efficacités énergétiques plus faibles induisent généralement un prix de revient plus élevé; [2]

- ❖ **séchoirs à circulation continue des produits** (temps de séchage de 1 à 48 h). Les produits circulent dans le séchoir et vont passer par les différents stades de séchage, à différents endroits du séchoir. Ces séchoirs sont plus automatisés, plus économiques, mais moins flexibles. Ils peuvent être classés en trois catégories. [2]

- ❖ **séchoirs-tunnels traditionnels** (sèchent entre 12 et 48 h) qui ont une ventilation longitudinale ou transversale.

Les pièces sont empilées sur des wagons poussés dans le séchoir qui se déplacent lentement entre les différentes zones du séchoir, souvent sur plusieurs voies parallèles.

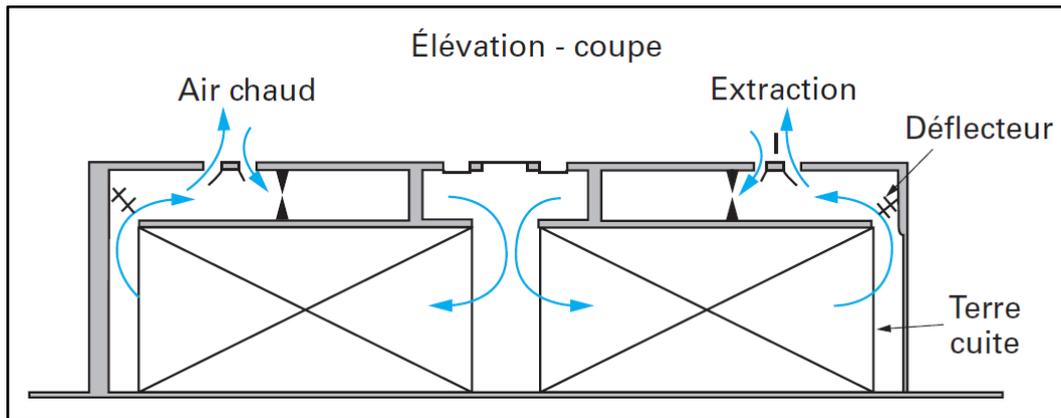


Figure I.9 : Séchoir à chambres (élévation-coupe). [3]

XII. Processus de cuisson :

À la sortie du séchoir, les produits n'ont pas encore leurs véritables qualités céramiques. Pour leur permettre d'acquérir la résistance mécanique, la stabilité à l'humidité, la résistance aux intempéries, etc., il est nécessaire de les soumettre à la cuisson à des températures élevées (900 à 1 150 °C).

Les produits de terre cuite étant fabriqués dans de grandes unités de production, on mesure toute l'importance du facteur régularité.

La cuisson doit être conduite de façon à obtenir des produits de caractéristiques fonctionnelles satisfaisantes et aussi régulières que possible.

Il s'agit de mélanger intimement le combustible avec l'air de combustion dans les brûleurs, de diluer ce mélange dans un excès d'air important pour ramener la température des flammes à la température de cuisson désirée pour le mélange argileux et, enfin, de soumettre tous les produits de l'empilage aux mêmes effets thermiques.

Les paramètres qui conditionnent la cuisson sont donc la température, la durée de cuisson et l'atmosphère du four (nature et uniformité). [2]

a. Effet de la température sur les constituants :

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

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

- ❖ jusqu'à 200 °C environ, dégagement de l'eau résiduelle de séchage (reste d'eau d'interposition, d'eau absorbée hygroscopique) et de l'eau d'hydratation ou zéolitique. Ainsi les Smectite peuvent perdre une part importante de leur eau, en particulier les molécules placées en position interfoliaire. Les molécules H₂O disparaissent des spectres IR. [2]
- ❖ de 200 à 450 °C, élimination des matières organiques ; elles s'oxydent avec l'air qui diffuse dans les porosités. Si le milieu n'est pas oxydant, des résidus carbonés vont se décomposer au lieu de s'oxyder en formant des hydrocarbures gazeux et du carbone qui reste dans la masse du tesson. La décomposition se produit à plus haute température que l'oxydation et le carbone résiduel est difficile à brûler par la suite. [2]
- ❖ les hydrates non argileux se décomposent totalement ou partiellement à 350 °C. Les hydroxydes de fer (goethite) se transforment en oxydes de fer. Suivant la possibilité d'oxydation, ils donnent soit de l'oxyde ferrique **Fe₂O₃** avec la coloration rouge, soit de la magnétite **Fe₃O₄** de coloration bleu noir. Ainsi les mélanges argileux contenant du fer cuisent rouge en atmosphère oxydante mais cuisent brun bleu en atmosphère réductrice. [2]
- ❖ de 400 à 680 °C, il y a destruction des minéraux argileux avec départ de l'eau de constitution. Les liaisons oxhydryles OH disparaissent des spectres IR. Il y a formation de composés très fins et désordonnés dits métakaolin et on observe un début du retrait de cuisson; la kaolinite, l'illite et l'hallowite commencent à se décomposer ainsi vers 550 /580 °C, la montmorillonite vers 680 °C. [2]
- ❖ à 573 °C, le quartz change de forme cristallographique. Au chauffage, cette transformation n'a pas de conséquence pratique dans un matériau non céramisé. [2]
- ❖ de 750 à 850 °C, décomposition du carbonate de chaux (cas des argiles calcaires) en chaux vive et dégagement de gaz carbonique selon la réaction :
Equation : **CO₃Ca =>CaO + CO₂ (g)**
Cette réaction est un équilibre et les températures exactes dépendent donc de l'atmosphère gazeuse.
On observe aussi la décomposition des sulfures dans cette gamme de température, ainsi que de certains sulfates et des halogénures.[2]
- ❖ dès 800 °C et jusqu'à la température finale de cuisson, deux types de phénomènes apparaissent.

D'abord les fondants contenus dans les mélanges non calcaires (feldspath, minéraux contenant

des alcalins) entrent petit à petit en réaction et forment des eutectiques à relativement bas point de fusion qui réalisent un frittage liquide réactif donnant aux produits leurs qualités mécaniques définitives. Les premiers verres apparaissent avant 800 °C. À 1 150 °C, les feldspaths sont ainsi fondus. [2]

b. Equipement de cuisson :

Si il existe encore quelques fabrications artisanales utilisent des fours intermittents et, si quelques usines sont encore dotées de fours continus à feu mobile (four Hoffmann), l'essentiel des producteurs de nos jours est assuré leur production par des fours continus à feu fixe, encore appelé « fours-tunnels ». [3]

i. Four tunnel :

Dans ce type d'appareils, les produits sont empilés sur des wagonnets qui sont ensuite poussés à l'intérieur du tunnel où ils avancent pas à pas, progressivement, à chaque entrée d'un nouveau wagonnet.

Le four est constitué par les deux parois latérales, la voûte du four, les deux portes d'entrée et de sortie ; la partie inférieure est constituée par la sole isolée des wagons. [3]

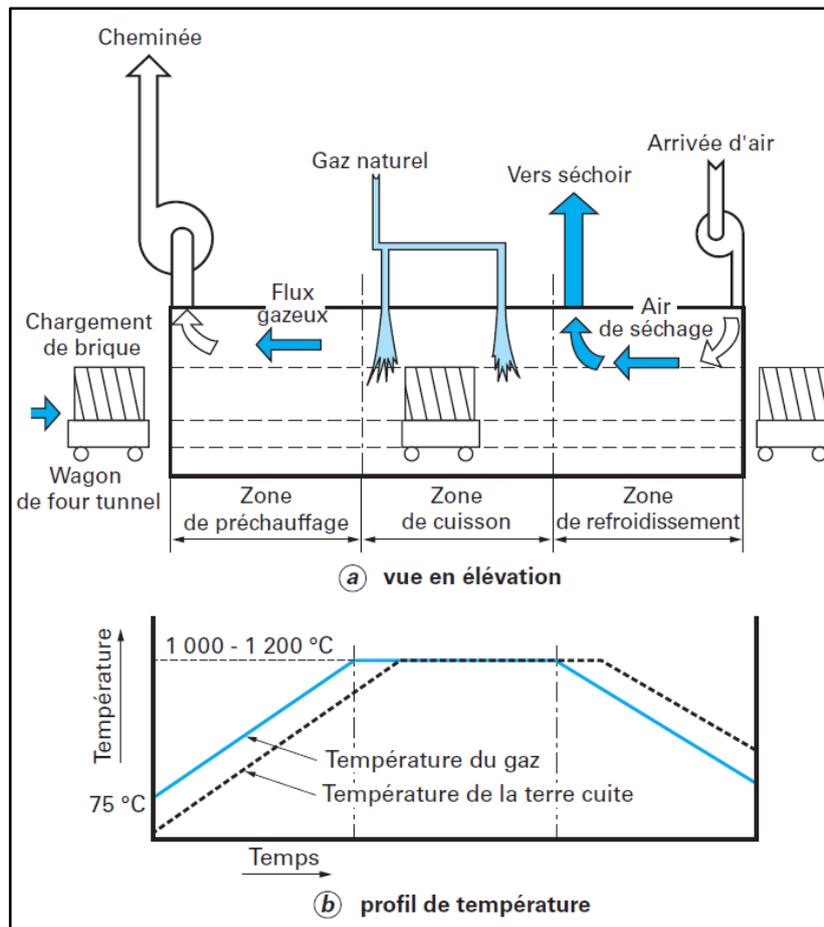


Figure I.10 : Vue d'un four tunnel et profil de température. [3]

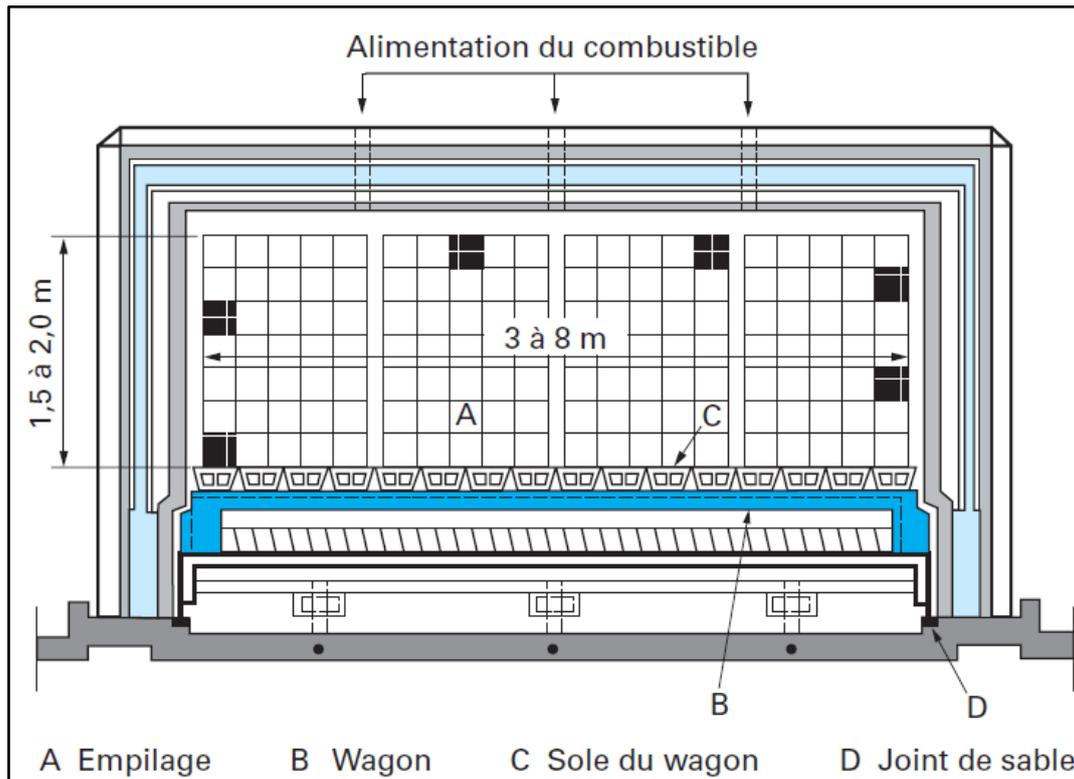


Figure I.11 : Section d'un four tunnel. [3]

c. Défauts de cuisson :

Les défauts de cuisson ont une incidence directe sur le prix de revient et un contrôle soigné de production permet de les garder à un niveau économiquement acceptable. Le taux de déchet a une importance directe sur la rentabilité de la ligne. Sur une ligne de production de tuiles de 50 000 t/an, une variation de 1 % de déchet représente 500 t/an qui auraient pu se vendre.

Sur le tableau ci-dessous, on a indiqué les différents défauts observés à la cuisson, certains étant la conséquence de défauts antérieurs, d'autres étant provoqués par la cuisson elle-même.

[4]

Tableau I.6 : Principaux défauts de cuisson. [2]

Défauts	Raisons possibles
Anomalie de coloration	Changement dans le mélange. Changement dans la température de cuisson (trop haute ou trop basse)
Mauvaise sonorité	Température de cuisson trop basse. Peut-être lié à la décarbonatation. Fêle
Faible résistance Mécanique	Température de cuisson trop basse. Fêle. Mélange irrégulier
Excès de porosité	Température de cuisson trop faible. Mélange inadapté
Mauvaise tenue au gel	Mauvaise distribution des pores. Température de cuisson trop basse
Efflorescence	Température de cuisson trop basse et temps trop court. Pollution à la carrière. Pas d'addition de carbonate de baryum
Éclats de chaux	Température de cuisson trop basse et temps trop court. Préparation insuffisante. Trempage à l'eau mal contrôlé
Anomalie dimensionnelle, déformations	Température de cuisson trop basse ou trop haute avec grésage important
Boursouflure	Température de cuisson trop élevée. Dégagement trop intense de gaz compte tenu delà perméabilité du tesson, souvent lié au cœur noir ou à la décarbonatation. Montée en température trop rapide vers 700 °C/800 °C
Forte dilatation à l'humidité	Température de cuisson trop basse

Grande fragilité mécanique et au choc thermique	Grésage trop important. Température de cuisson trop élevée
Écaillages, éclatements	Matériau trop humide à l'entrée du four. Argile trop compacte qui ne permet pas l'évacuation des gaz. Montée en température trop rapide entre 20 et 500 °C
Fissures et fentes d'échauffement	Fissures très fines provenant du séchage. Défaut de filage. Choc thermique accidentel. Passage préférentiel des fumées
Fissures de refroidissement (fentes très fines, aspect brillant)	Passage trop rapide au point quartz
Rupture de refroidissement	Gradient thermique dans la pièce trop important
Cœur noir	Trop de matière organique pour la vitesse de chauffage. Texture trop dense

d. Illustration de quelque Produit de terre cuite :

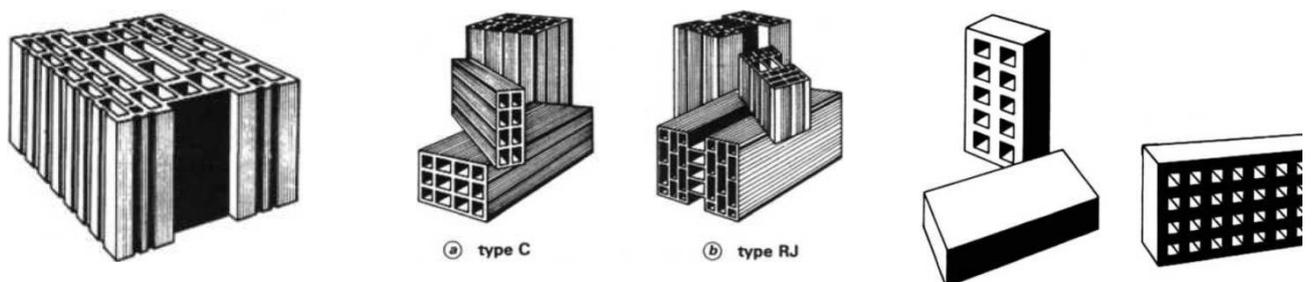


Figure I.12 : Exemple de produits de terre cuite. [8]

XIII. Conclusion :

Les produits de terre cuite sont capables de répondre à de nombreuses fonctions et sont donc des solutions efficaces et économiques. La terre cuite correspond bien aux préoccupations environnementales croissantes. Elle est conforme aux exigences du développement durable et est considérée comme l'un des matériaux les plus sains.

Ces dernières années, un grand nombre de problèmes liés à la fabrication de la terre cuite a été solutionné, il concerne les produits, leur mise en œuvre et les procédés. Ce matériaux sont promis à un excellent avenir car comme ils ont su s'adapter à travers le passé, ils vont, sans aucun doute, s'adapter au défi futur qui l'attend.

Chapitre II : Analyse et caractérisation

I. Introduction :

Dans ce chapitre on traitera les différents aspects, physiques et chimiques, des matériaux que nous allons utiliser dans notre travail. Ce chapitre nous servira à appréhender avec plus de clarté toutes les caractéristiques qui nous intéressent à savoir la composition chimique et minéralogique ainsi que le comportement des différents échantillons en fonction de leur humidité.

Le matériau de base est une argile issue du gisement de l'oued Remila présentement exploité par l'entreprise SO.MA.CO.B pour la production de brique.

Notre ajout est une terre décolorante usée (TDU) issue du raffinage des huiles végétales, elle a été récupérée au niveau de la raffinerie de l'entreprise CO.G.B la belle (Bejaia).

II. Matériau de base (Argile Remila) :**a. Aperçu historique sur le gisement :**

Entre juillet et août 1983 une campagne de recherche détaillée a été menée sur l'indice de Oued Remila, les travaux de sondage ont été effectués par la SONAREM et la SNMC et des analyses chimiques ont été effectuées en Tchécoslovaquie, des essais semi industriels sur l'argile ont été réalisés dans les briqueteries de Mezaia et Khemis Miliana et se sont montrés très prometteurs, l'extraction d'argile au niveau de la carrière d'Oued Remila a débuté en 1984.

b. Situation géographique du gisement :

Le gisement est situé sur le territoire de la commune de Tinebdar, daïra de Sidi Aich, wilaya de Bejaia. Elle est localisée sur la rive droite (Ouest) de l'Oued Remila, soit à 1500 m de la piste au Nord de la route nationale RN 26 reliant El-Kseur à Sidi Aich.

c. Géologie du gisement :

Le gisement d'argile de Remila a fait l'objet d'une étude géologique détaillée par la SNMC (Direction de Recherche et Etude Géologique DREG, 1983). Les travaux de prospection en été menés sur la base d'un réseau de sondages et de creusement de tranchées. Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés ont permis de maîtriser les caractéristiques qualitatives de la matière première. Les dépôts marins du miocène inférieur (Burdigalien) participent à la constitution de l'assise utile du gisement. Ils sont représentés par des argiles compactes, modérément plastiques, jaunes, grises à gris-jaunâtres. Des grès argileux de 0,1 à 1,5 mètre de puissance sont observés dans les argiles. La partie inférieure

renferme des intervalles d'argiles aleuritiques. La puissance totale de l'assise utile argileuse est supérieure à 180 mètres.

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

III. Caractérisation Minéralogique et chimique de l'argile de (REMILA-Bejaïa) :

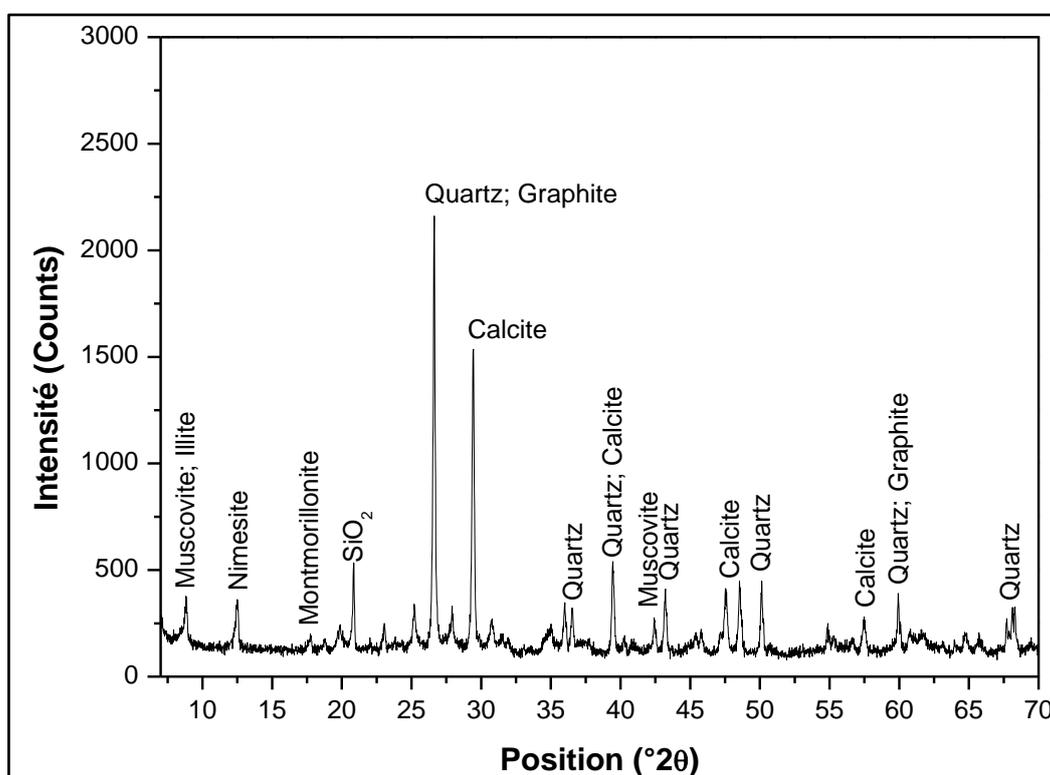


Figure II.1 : Diffractogramme de l'argile de REMILA

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

Quartz :SiO₂, Calcite :CaCO₃, Muscovite : H₂KAl₃(SiO₄)₃, Graphite: C,
 Montmorillonite: CaMg₂AlSi₄(OH)₂H₂O, Illite,

Tableau II.1 : Composition chimique de l’argile de Remila [1]

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃ Total	SO ₃ Gypse	P.f
Moyenne %	46.67	11.85	5.15	14.70	1.89	1.57	0.89	0.52	15.7

L’argile de l’Oued-Remila est caractérisée par une teneur réduite en silice et oxyde d’aluminium tandis que les oxydes de calcium, de magnésium et le SO₂ sont dans la limite des normes.

Ces argiles sont semi-acides teneur en Al₂O₃ inférieur à 28% et forte teneur en oxyde colorant Fe₂O₃ supérieur à 3%. [1]

IV. Caractéristiques physique et chimique des terres décolorantes:

a. Terre décolorante vierge (TDV):

i. le Ph des terres vierges (TDV):

D’après les données du fournisseur et les analyses de (CO.G.B la belle) le pH des terres avant usage varie entre 5 et 7, le (Tableau II.2) liste la variation du pH sur Cinq lots reçus par l’entreprise.

Tableau II.2 : Résultats de mesure de (Ph, densité, humidité) sur Cinq lots de TDV.

Lots	1	2	3	4	5
Ph	6.78	6.72	6.47	6.68	4.38
Densité (g/l)	863	851	848	849.6	732
Humidité (%)	5.33	6.53	5.23	4.45	3.66

ii. Répartition granulométrique :

Tableau II.3 : Pourcentage des fractions granulométriques TDU.

Fraction Granulométrique en (μm)	Pourcentage de la fraction en (%)
>150	05
>100	3
>63	10
>45	22
>25	42

iii. Composition chimique :

Le (tableau II.4) répertorie les composants de la terre décolorante vierge, ces résultats sont des données fournisseur issues de la fiche technique du produit.

Tableau II.4 : Pourcentage des différents éléments constitutifs de la TDV

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Perte au feu
Pourcentage	59.1	6.1	2.2	0.2	19.3	0.9	0.2	0.9	11.2

b. Terre décolorante usagée (TDU) :

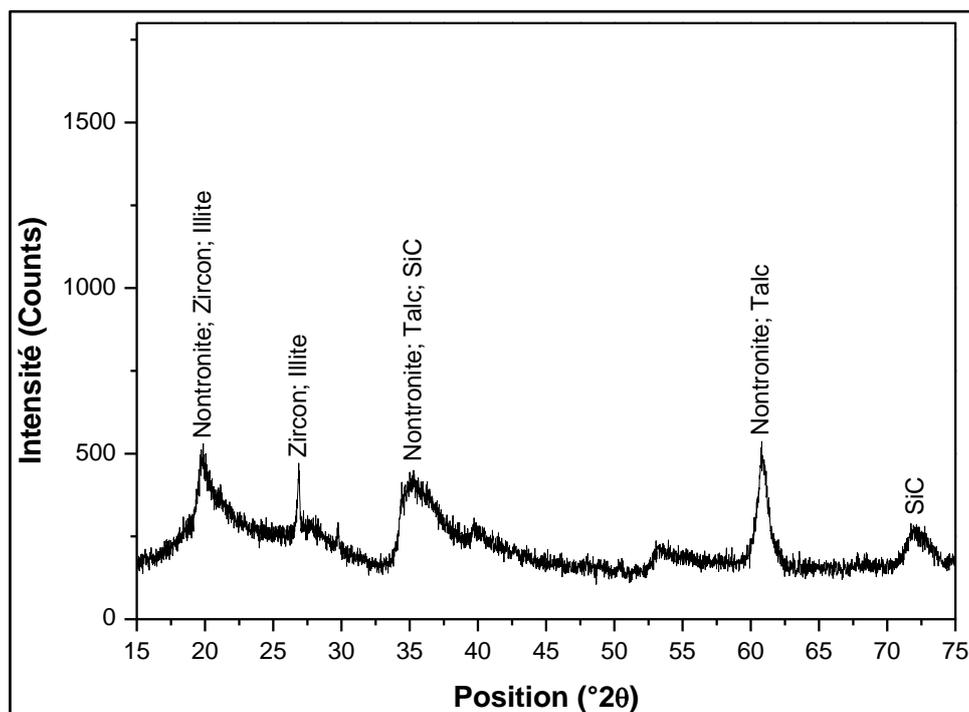


Figure II.2 : Diffractogramme de la TDU

L'analyse par diffraction des rayons X a révélé l'existence des composés suivants :

Nontronite : $(\text{Fe,Al}) \text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH}) \text{H}_2\text{O}$

Zircon, Illite, Talc.....

Il est probable que d'autres éléments soient masqués à cause de la présence de matière grasse.

i. Taux de matière grasse :

Tableau II.5 : Taux de matière grasse mesurée sur une période d'un mois.

Date de mesure	Taux de matière grasse % massique
5-05-2015	15.30
12-05-2015	13.50
26-05-2015	16.26
16-04-2015	15.03
09-04-2015	16.08

Notre échantillon correspond à la mesure du (05-05-2015) qui est de 15.30 %, dans les faits la fourchette de variation du taux de matière grasse est plus pertinente pour une éventuelle valorisation qu'une mesure ponctuelle.

ii. Perte au feu TDU :

Deux échantillons de 10 g chacun ont été mis au four à 1000 °C pendant 3h pour mesurer la perte au feu de la terre décolorante usée, les résultats obtenus sont ci-dessous :

Tableau II.6 : Perte au feu échantillon de terre décolorante usée.

	Masse avant calcination	Masse après calcination	Tare	PF
E1	45.16	41.45	35.16	3.71
E2	45.60	41.88	35.60	3.72
Moyenne PF	3.715			

On remarque que la perte au feu est très importante, signe que notre échantillon contient une importante portion de matière organique.

Chapitre III : Préparation et caractérisation Physico-mécanique des briques.

I. Détermination des Limites d'Atterberg :

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

En fonction de la teneur en eau, un sol remanié se présente suivant des consistances variables pour lesquelles on peut distinguer quatre états : liquide, plastique, solide avec retrait et solide sans retrait. En réalité, le sol passe graduellement d'un état à l'autre et les frontières respectives ne sont définies que conventionnellement.

Les limites de consistance, ou limites d'Atterberg (pédologue Suédois) constituent un indice important en géotechnique. Ces limites sont mesurées avec un appareillage normalisé, sur le mortier, c'est-à-dire la fraction de sol qui passe au tamis de 400 μm .

Il est défini trois limites :

- ❖ la limite de liquidité w_L qui sépare l'état liquide de l'état plastique
- ❖ la limite de plasticité w_p qui sépare l'état plastique de l'état solide

a. Appareillage nécessaire :

i. Pour la préparation de l'argile :

- ❖ Concasseur à mâchoires
- ❖ Broyeur planétaire
- ❖ Tamis à mailles carrées de 400 μm
- ❖ Récipient

ii. Appareil de Casagrande :

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

L'appareillage est conforme à la norme NF P94-051.

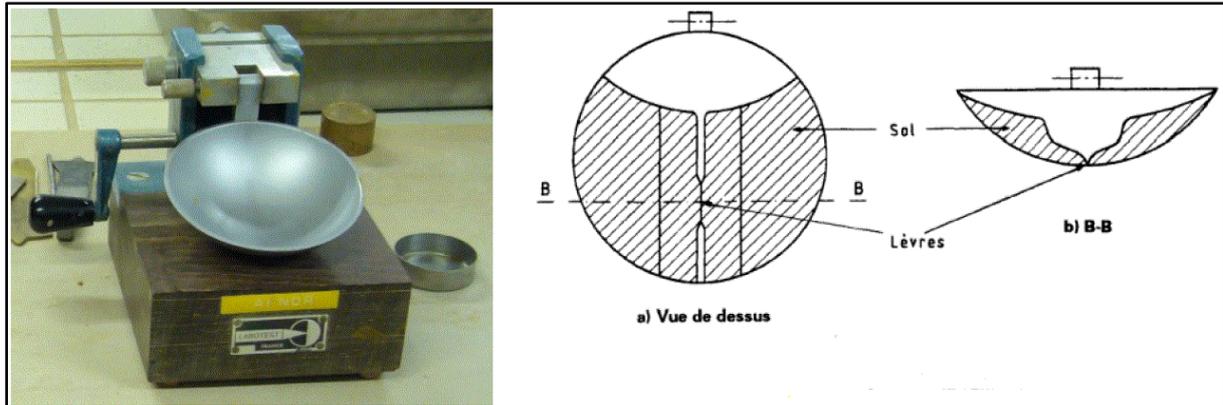


Figure III.1 : Appareil de Casagrande

b. Mode opératoire :

i. Limite de liquidité W_L :

- ❖ On prend 200g de d'argile qu'on mouille avec de l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte molle
- ❖ On l'étale dans le bol, de manière à avoir une épaisseur à peu près constante, de 1 cm, avec une surface horizontale sur le pourtour.
- ❖ à l'aide de l'outil à rainurer on trace une fente au milieu séparant ainsi la pâte en deux.
- ❖ On tourne la manivelle jusqu'à ce que les deux bords se rejoignent sur 1 cm et on observe le nombre de coups.
- ❖ On recommence l'opération pour obtenir 3 valeurs tel que le nombre de chocs soit compris entre 15 et 35.
- ❖ On prélève pour chaque échantillon un peu de mortier dans la coupelle
- ❖ On pèse immédiatement pour obtenir P_h <masse humide>
- ❖ On place l'échantillon dans l'étuve à 105°C pendant 24h pour obtenir un poids stable
- ❖ On pèse l'échantillon sec à la sortie de l'étuve puis on calcule la teneur en eau W

$$\text{Equation 1: } W = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

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

$$W_L = (W_{L1} + W_{L2} + W_{L3})/3$$

- ❖ W: teneur en eau (en %).
- ❖ P_h: poids de l'échantillon humide.
- ❖ P_s: poids de l'échantillon sec.

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

ii. Limite de plasticité W_p :

Prendre un échantillon séché de l'argile fine

On y ajoute un peu d'eau et homogénéiser le mélange

On forme des files de 3 [mm] de diamètre et de 10 [cm] de longueur.

On soulève le file avec la spatule, et on constate si il montre des fissures

On récupère l'échantillon, on le pèse, et on calcule sa teneur en eau.

$$W_P = (W_{P1} + W_{P2} + W_{P3}) / 3$$

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

c. Indice de plasticité :

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

$$I_P = W_L - W_P$$

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

Tableau III.1 : calcul des limites de liquidité argile 0% d'ajout

Essais	A1	A2	A3	A4	A5
Nombre de coup N	35	21	17		
Masse humide g P_h	24.09	22.02	18.56	2.78	2.74
Masse sèche g P_s	17.66	15.93	13.30	2.28	2.16
Masse d'eau g P_w	6.43	6.09	5.26	0.5	0.33
Teneur en eau W en %	36	38	39.5	21.92	15.27

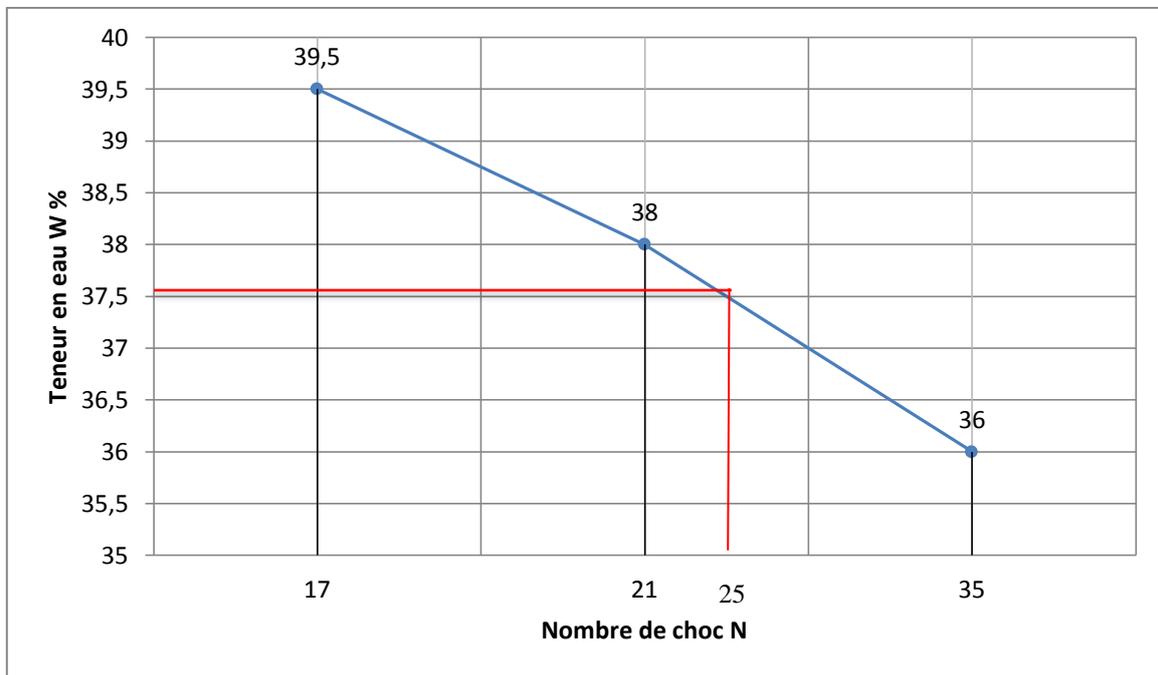


Figure III.2 : Teneur en eau en fonction du nombre de choc

À partir du graphique on aura environ $W_L = 37.46\%$. Donc la méthode graphique et numérique concordent.

La limite de plasticité pour l'argile à 0 % d'ajout est de $W_p = 18.59\%$, $I_p = 18.87\%$

TableauIII.2 : Calcul des limites de liquidité argile 10% d'ajout

Essais	B1	B2	B3	B0
Nombre de coup N	32	24	19	
Masse humide g P_h	27.42	26.55	29.79	3.31
Masse sèche g P_s	20.39	19.5	21.83	2.69
Masse d'eau g P_w	7.03	7.05	7.96	0.62
Teneur en eau W en %	34.47	36.15	36.46	23.04

❖ La limite de liquidité pour l'échantillon à 10 % d'ajout est de $W_L = 35.58 \%$

❖ La limite de plasticité pour l'échantillon à 10 % d'ajout est de $W_p = 22.04 \%$

$$I_p = 13.54 \%$$

TableauIII.3 : Calcul des limites de liquidité argile 20% d'ajout

Essais	C1	C2	C3	C0
Nombre de coup N	31	25	17	
Masse humide g P_h	25.06	20.30	26.85	2.58
Masse sèche g P_s	18.78	15.04	19.78	2.29
Masse d'eau g P_w	6.28	5.26	7.07	0.29
Teneur en eau W en %	33.43	34.97	35.74	12.66

❖ La limite de liquidité pour l'échantillon à 20 % d'ajout est de $W_L = 34.46 \%$

❖ La limite de plasticité pour l'échantillon à 20 % d'ajout est de $W_p = 23.66 \%$

$$I_p = 10.08 \%$$

Tableau III.4 : calcul des limites de liquidité argile 30% d'ajout

Essais	D1	D2	D3	D4	D5
Nombre de coup N	32	27	19		
Masse humide g P_h	40.97	23.33	22.77	2.25	2.46
Masse sèche g P_s	30.77	17.41	16.79	1.82	1.95
Masse d'eau g P_w	10.2	5.92	5.98	0.43	0.51
Teneur en eau W en %	33.14	34	35.61	23.62	26.15

❖ La limite de liquidité pour l'échantillon à 30 % d'ajout est de $W_L = 34.29 \%$

❖ La limite de plasticité pour l'échantillon à 30 % d'ajout est de $W_p = 24.88 \%$

$$I_p = 9.41 \%$$

Tableau III.5 : Calcul des limites de liquidité et de plasticité de l'argile à 50 % d'ajout

Essais	E1	E2	E3	E4	E5
Nombre de coup N	31	24	18		
Masse humide g P_h	28.07	23.00	46.96	3.26	3.01
Masse sèche g P_s	20.88	16.94	30.34	2.6	2.41
Masse d'eau g P_w	7.19	6.06	16.62	0.66	0.60
Teneur en eau W en %	34.43	35.77	54.77	25.38	24.89

❖ La limite de liquidité pour l'échantillon à 50 % d'ajout est de $W_L = 41.18\%$

❖ La limite de plasticité pour l'échantillon à 50 % d'ajout est de $W_p = 25.13 \%$

$$I_p = 16.05 \%$$

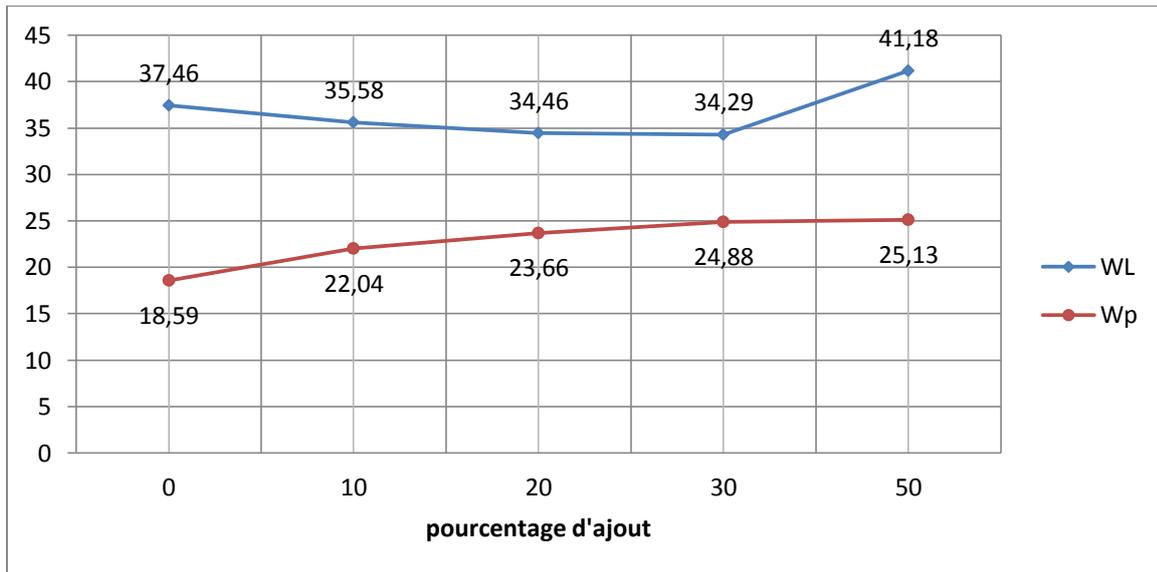


Figure III.3 : Variation des limites de plasticité et de liquidité en fonction du pourcentage d'ajout

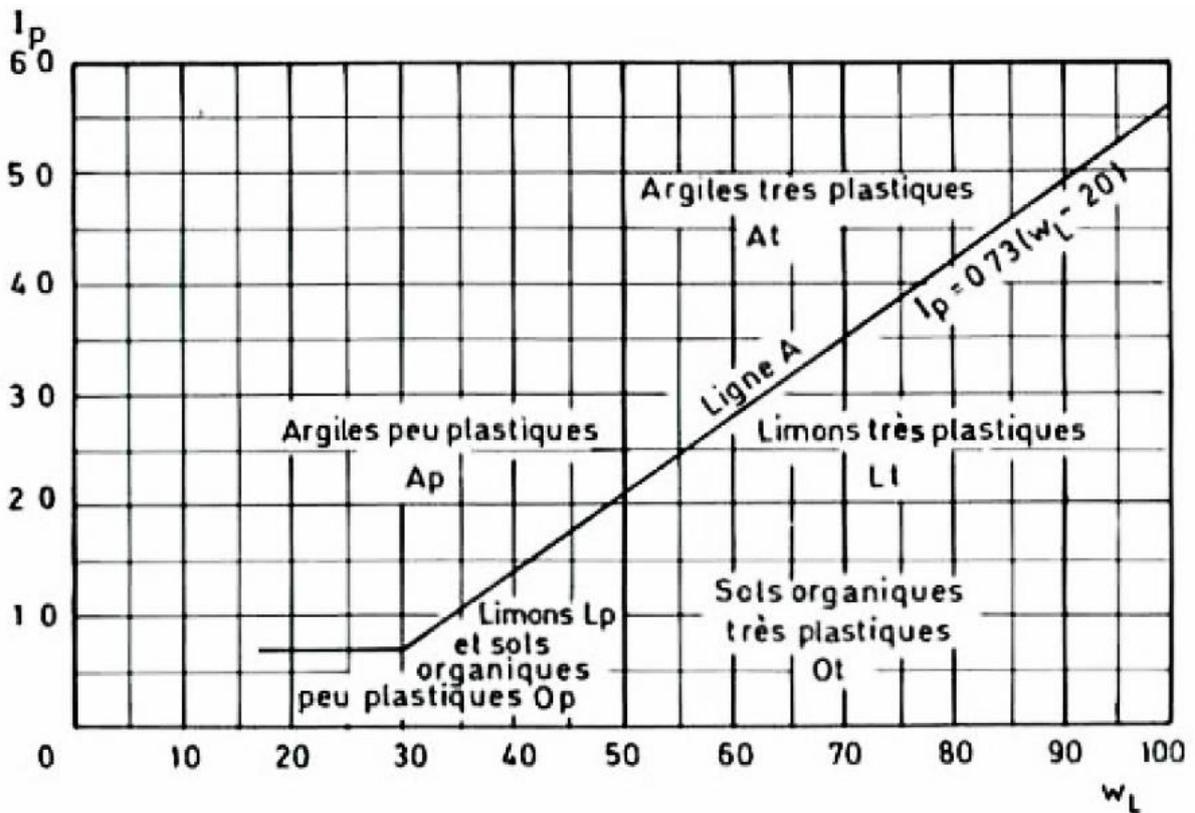


Figure III.4 : Diagramme de Plasticité et classification des sols Fins [2].

d. Interprétation des résultats :

On constate que la plasticité ou liquidité diminue globalement avec l'augmentation du pourcentage d'ajout même si les valeurs liées à l'échantillon de 50% ne coïncide pas avec les autres ; nous attribueront cela aux aléas et erreurs de manipulation car les essais d'Atterberg se basent sur l'observation ce qui peut se montre très problématique pour avoir des résultats totalement fiables.

En fonction du diagramme si dessus (Figure III.4) et des résultats obtenus lors des essais d'Atterberg on constate que :

- ❖ Pour les échantillons à 0% et 10% le comportement de notre argile est celui d'une argile peu plastique
- ❖ Plus le pourcentage d'ajout augmente plus le comportement se rapproche de celui d'un limon ou d'un sol organique peu plastique

Cette tendance est sans doute liée à l'augmentation du pourcentage d'huile dans les échantillons.

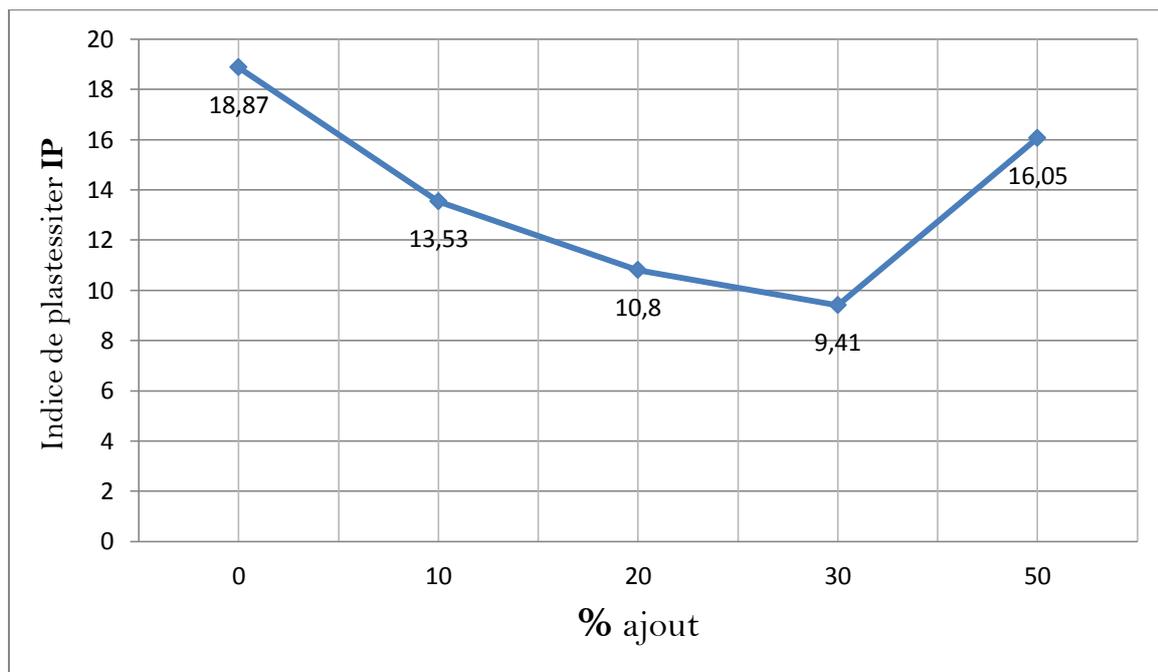


Figure III.5 : évolutions de l'indice de plasticité en fonction du pourcentage d'ajout.

II. Préparation des éprouvettes :

a. Préparation des différents mélanges :

L'argile et la terre décolorante ont été préalablement séchées 24h à l'étuve à 105°C et broyées pour obtenir une fraction inférieure à 400µm. Le mélange s'est fait en fonction du pourcentage de masse sèche, Cinq échantillons ont été préparés avec des pourcentages d'ajout défèrent, 10 %, 20 %, 30 % et 50 % et un dernier avec 0% d'ajout qui représente l'échantillon témoin.

b. Confection des éprouvettes :

On remue l'argile et la TDU jusqu'à ce que le tout soit homogène, on rajoute la quantité adéquate d'eau ou mélange argile + TDU, qui a été préalablement déterminée afin d'obtenir une patte plastique et non collante ayant une consistance optimale pour le façonnage.

On prend une quantité de cette patte que l'on insère dans un moule préalablement huilé afin d'éviter que la patte ne colle aux parois, on la presse convenablement pour éviter la formation de vide, on arase l'excédent et on démoule.

Les mélanges ont été confectionnés sur une base de 2600 g de masse sèche. La quantité de patte d'argile résultant nous permet de confectionner 6 éprouvettes de dimension (16x4x4 cm).

Tableau III.6 : composition du mélange [série A 0%]

	Masse (g)	Masse %		Masse (g)	Masse %
Masse Argile	2600	100	Masse sèche	2600	81.41
Masse Ajout	0	0	Masse eau	483.34	18.59
Total	2600	100	Total	3083.34	100

Tableau III.7 : composition du mélange [série B10%]

	Masse (g)	Masse %		Masse (g)	Masse %
Masse Argile	2340	90	Masse sèche	2600	77.96
Masse Ajout	260	10	Masse eau	573.04	22.04
Total	2600	100	Total	3173.04	100

Tableau III.8 : composition du mélange [série C20%]

	Masse (g)	Masse %		Masse (g)	Masse %
Masse Argile	2080	80	Masse sèche	2600	76.34
Masse Ajout	520	20	Masse eau	615.16	23.66
Total	2600	100	Total	3215.16	100

Tableau III.9 : composition du mélange [série D30%]

	Masse (g)	Masse %		Masse (g)	Masse %
Masse Argile	1820	70	Masse sèche	2600	75.12
Masse Ajout	780	30	Masse eau	646.88	24.88
Total	2600	100	Total	3246.88	100

Tableau III.10 : composition du mélange [série E50%]

	Masse (g)	Masse %		Masse (g)	Masse %
Masse Argile	1300	50	Masse sèche	2600	74.87
Masse Ajout	1300	50	Masse eau	653.38	25.13
Total	2600	100	Totale	3253.38	100

III. Phase de séchage :

Les éprouvette ainsi formées ont été laissées à l'air libre pendant 72h afin de perdre graduellement un maximum d'humidité, elles ont été par la suite séchées à l'étuve à une température de 105 C° pendant 72h jusqu'à ce que le poids soit constatant, la lenteur du procédé de séchage est justifié par le fait qu'un séchage trop rapide engendre des déformations et des fendillements dans les éprouvettes.

a. Retrait au séchage :

La mesure des dimensions après séchage pour la détermination du retrait au séchage(Rs) a été faite sur les deux axes des éprouvettes qui ont été en contact avec les parois du moule et cela dans un souci de précision car les dimensions sur le troisième axe peuvent être faussés, On a aussi procédé au calcul de la perte de poids au séchage,

Il est à noter que les dimensions des éprouvettes avant séchage sot de [16x4x4 cm].

$$P_s = \frac{W_p - W_s}{W_p} * 100$$

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

L_p : longueur de la brique à l'état plastique.

L_s : longueur de la brique à l'état sec.

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

W_s : poids de la brique à l'état sec.

R_s : retrait au séchage en pourcentage

Tableau III.11 : Humidités résiduelles et dimension des éprouvettes série A 0%

	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Humidités résiduelle (g)	Humidités résiduelle (%)	Dimension (mm)
A1	1519.61	1257.11	20.05	1.32	150.8 x 35
A2					152 x 35
A3					152 x 35
A4	1528.42	1264.17	20.02	1.31	151 x 34.9
A5					151 x 35
A6					150 x 35

Tableau III.12 : Humidités résiduelles et dimension des éprouvettes série B 10%

	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Humidités résiduelle (g)	Humidités résiduelle (%)	Dimension (mm)
B1	1509.46	1223.21	46.49	3.08	150.6x35.9
B2					151x36
B3					151x35.6
B4	1537.95	1248.74	49.82	3.24	151.6x35.5
B5					151.8x36
B6					151x35.4

Tableau III.13 : Humidités résiduelles et dimension des éprouvettes série C 20%

	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Humidités résiduelle (g)	Humidités résiduelle (%)	Dimension (mm)
C1	1420	1141.48	57.51	4.05	151x35
C2					152x35
C3					152x35
C4	1439.83	1152.51	53.41	3.71	151x36
C5					150.5x35.4
C6					150.7x35

Tableau III.14 : Humidités résiduelle et dimension des éprouvettes série D 30%

	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Humidités résiduelle (g)	Humidités résiduelle (%)	Dimension (mm)
D1	1369.57	1089.21	60.39	4.41	150x35.4
D2					151x35
D3					150x35
D4	1395.31	1113.12	65.02	4.66	150.5x35
D5					151x35
D6					150.8x35

Tableau III.15 : Humidités résiduelle et dimension des éprouvettes série E 50%

	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Humidités résiduelle (g)	Humidités résiduelle (%)	Dimension (mm)
E1	1274.62	1014.15	59.90	4.70	150.7x35.9
E2					151x36
E3					150.9x35.9
E4	1306.58	1036.75	58.53	4.48	151.8x35
E5					152x35.6
E6					151.6x35

On constate que l'humidité résiduelle est directement proportionnelle au pourcentage d'ajout, ainsi la plus haute teneur en humidité résiduelle est atteinte avec la série E 50 %, cela est sans doute directement lié à l'augmentation du pourcentage de matière grasse dans les éprouvettes ainsi qu'à la nature de la TDU qui est une montmorionite, autrement dit une argile très adsorbante.

Tableau III.16 : retrait au séchage et perte en poids au séchage

	Retrait au séchage Rs (%)	Perte en poids au séchage (Ps %)
Série A 0%	5.62	20.89
Série B 10%	5.62	23.28
Série C 20%	6.25	24.65
Série D 30%	5.62	25.54
Série E 50%	5.62	25.85

On constate que le retrait au séchage reste le même sur l'ensemble des séries, alors que la perte de poids au séchage augmente graduellement de la série A vers la série E cela peut aisément s'expliquer par le fait que les humidités de façonnage suivent la même courbe d'évolution, et en dépit du fait que l'humidité résiduelle augmente aussi avec l'accroissement du pourcentage d'ajout de A vers E.

IV. Phase de cuisson :

La cuisson est une étape cruciale du processus de production des terres cuites de manière générale et des briques en particulier, elle doit être menée soigneusement de façon à éviter les fissurations, les boursoufflures ou l'éclatement des briques.

On a procédé à la cuisson en suivant différents paliers de température, ainsi de 100 à 600°C on s'est efforcé d'avoir une montée en température relativement lente (environ 4h) jusqu'à l'élimination totale des différents eaux, eau d'hydratation, d'interposition, et de constitution.

Le deuxième palier a été plus rapide, la montée de 600 à 950°C s'est faite en 2h, une fois le dernier palier atteint on stabilise la température à 950°C pendant 3 h, et finalement on éteint le four et on laisse refroidir à l'intérieur graduellement afin d'avoir une bonne recristallisation des phases, et éviter un éventuel choc thermique.

Tableau III.17 : perte au feu et retrait totale série A 0%

	Perte au feu (g)	Perte au feu (%)	Retrait totale (%)
A1	64	15.32	1.26
A2	69.22	16.38	1.31
A3	68.04	16.29	1.33
A4	69.31	16.35	1.98
A5	69.04	16.29	0.66
A6	63.88	15.31	00
Moyenne		15.99	1.09

Tableau III.18 : perte au feu et retrait total série B10%

	Perte au feu (g)	Perte au feu (%)	Retrait totale (%)
B1	75.49	18.17	1.06
B2	74.49	18.15	0.66
B3	73.22	18.39	1.32
B4	75.92	18.21	1.71
B5	75.24	17.96	0.52
B6	74.99	18.14	0.66
Moyenne		18.17	0.98

Tableau III.19 : perte au feu et retrait total série C20%

	Perte au feu (g)	Perte au feu (%)	Retrait total (%)
C1	76.65	20.23	1.32
C2	75.81	19.99	2.63
C3	77.01	20.06	1.31
C4	78.24	20.20	1.98
C5	77.57	19.99	2.32
C6	75.91	20.10	1.79
Moyenne		20.09	1.89

Tableau III.20 : perte au feu et retrait total série D30%

	Perte au feu (g)	Perte au feu (%)	Retrait total (%)
D1	82.40	22.78	2.00
D2	82.93	22.73	1.98
D3	82.51	22.72	1.33
D4	83.73	22.77	1.66
D5	84.40	22.72	1.98
D6	85.3	22.78	1.85
Moyenne		22.75	1.80

Tableau III.21 : perte au feux et retrait totale série E50%

	Perte au (feu g)	Perte au feu (%)	Retrait total (%)
E1	90.09	26.73	3.11
E2	90.00	26.54	3.31
E3	90.01	26.61	3.24
E4	91.86	26.58	3.16
E5	91.41	26.38	3.28
E6	91.45	26.50	3.03
Moyenne		26.55	3.18

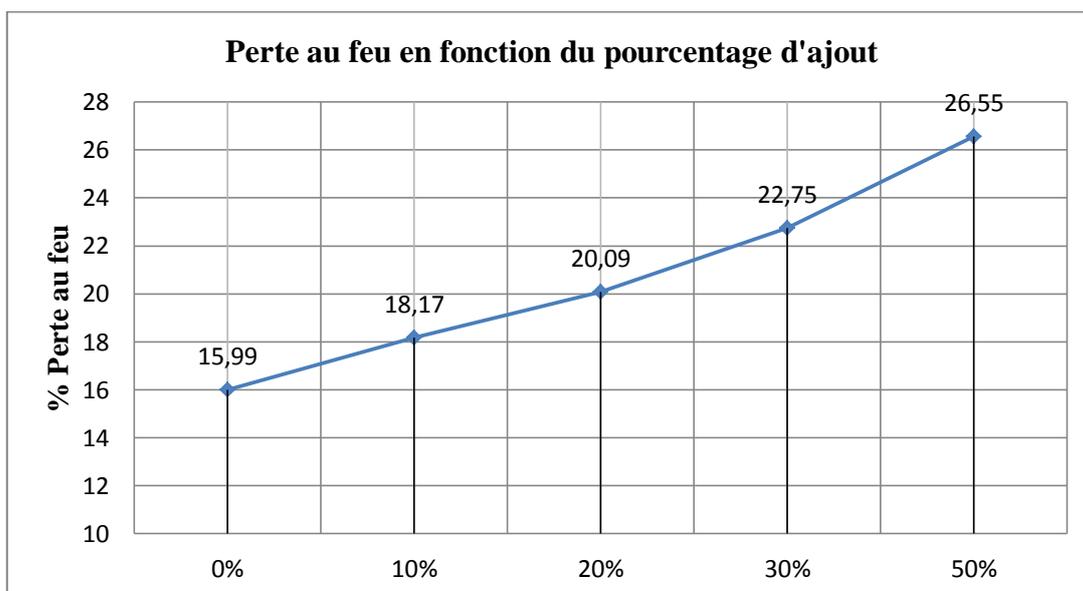


Figure III.6 : Perte au feu en fonction du pourcentage d'ajout

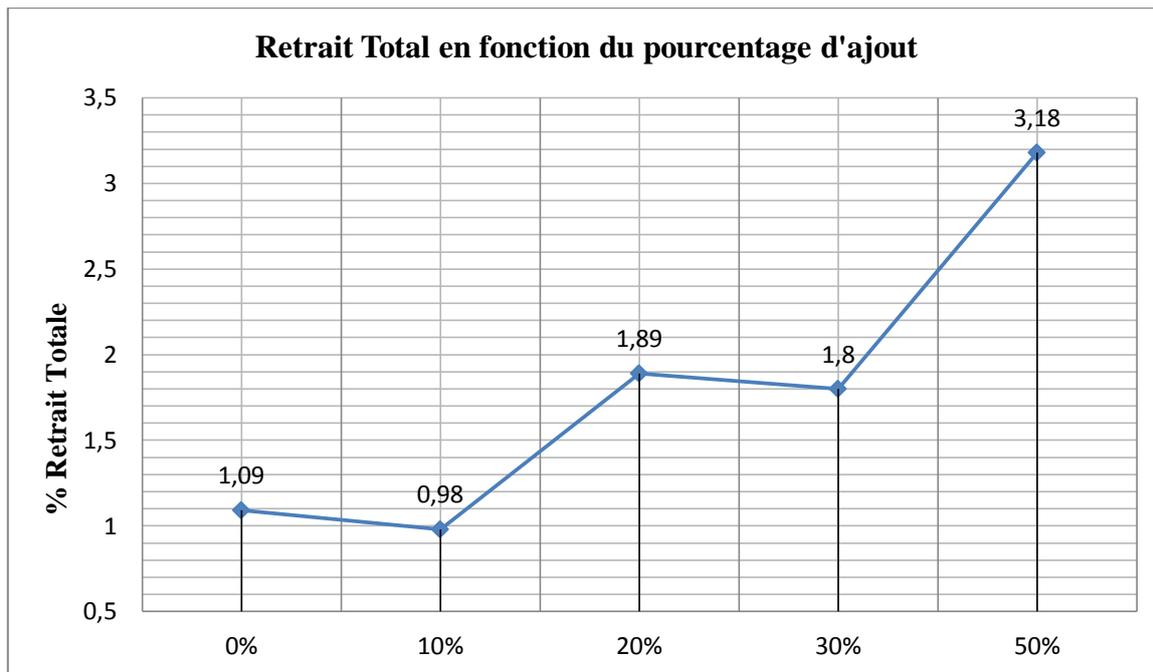


Figure III.7: Retrait Total en fonction du pourcentage d'ajout

a. Résultats et discussion :

Après la cuisson, les briques ont un très bon aspect avec très peu de fissures, excepté la série E 50% qui est relativement fissurée, les différentes séries se présentent avec différentes teintes qui vont du jaune pour la série A % au rosé, à mesure que le taux d'ajout augmente, jusqu'à être presque rose pour la série E %, ce qui s'accorde parfaitement avec les résultats des analyses, car la TDU et l'argile de Remila sont très riche en Al_2O_3 (Tableau II.1 et Tableau II.4).

On constate que la perte au feu augmente proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage d'ajout cela est sans doute lié à trois facteurs :

- ❖ Le taux de matière grasse qui est très important dans la TDU, et qui croît dans les mélanges de façonnage de la série À vers la série E.
- ❖ L'humidité résiduelle qui augmente proportionnellement au pourcentage d'ajout (Tableau III.11 Tableau III.15).
- ❖ La perte au feu de le TDU qui est de 37.15 % (Tableau II.6).

Les pertes au feu des séries A jusqu'à D varient de 15.99 à 22.75%. Elles sont donc conformes à la norme (<25%) sauf la série E 50% qui atteint 26.55 (Figure III.6).

Le retrait total connaît une tendance d'accroissement. Cela est dû à l'augmentation de l'humidité résiduelle (Tableau III.11 à III.15) en fonction du pourcentage d'ajout.

V. Masse volumique apparente :

C'est le rapport de la masse d'un corps sur son volume apparent à l'état naturel après passage à l'étuve à 105C°, Notée M_v et exprimé en [g/cm^3 ; Kg/m^3 ; T/m^3], elle est caractérisée par la moyenne arithmétique des masses volumiques mesurée sur au moins 6 éprouvettes selon la norme algérienne NA 5022. [1]

$$M_v = \frac{M_{vi}}{6}$$

La masse volumique de chaque éprouvette est donnée par la formule suivante :

$$M_{vi} = \frac{M_i}{V_i}$$

Avec :

M_{vi} : Masse volumique de l'éprouvette.

M_i : masse de l'éprouvette.

V_i : volume de l'éprouvette.

a. Mode opératoire :

Les masses volumiques des briques M_{vi} dans notre cas sont calculées sur la base des masses M_i mesurées sur les éprouvettes cuites juste après refroidissement, et la détermination du volume V_i est faite à partir de la mesure des dimensions des éprouvettes avec un pied à coulisse.

b. Résultats et interprétation :

Tableau III.22 : Masses Volumiques apparentes des différentes séries d'éprouvettes exprimées en g/cm³.

Série	A 0%	B 10%	C 20%	D 30%	E 50%
Mv1	2.039	1.849	1.762	1.632	1.457
Mv2	2.037	1.827	1.769	1.647	1.470
Mv3	2.014	1.767	1.788	1.639	1.465
Mv4	2.044	1.855	1.802	1.659	1.498
Mv5	2.044	1.870	1.809	1.677	1.505
Mv6	2.037	1.840	1.759	1.689	1.497
Mv (g/cm³)	2.035	1.834	1.781	1.656	1.482

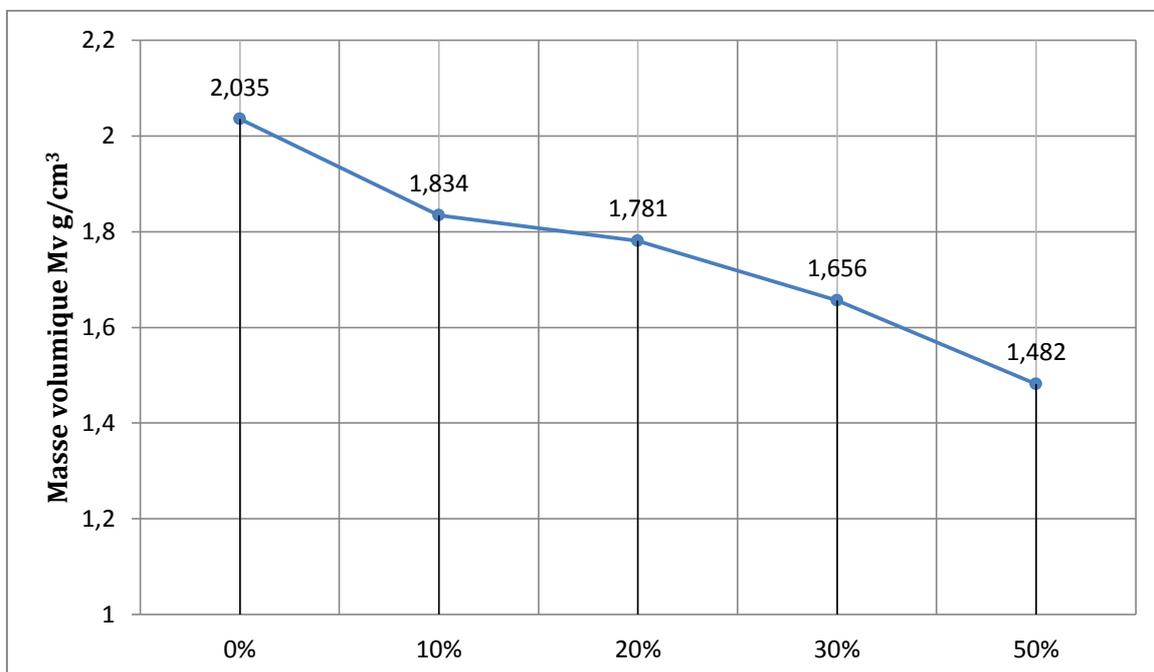


Figure III.8: Evolution de la masse volumique apparente en fonction du pourcentage d'ajout.

On constate que les masses volumiques des séries diminuent avec l'augmentation du pourcentage d'ajout (Figure III.8), cela est dû à la combustion des matières organiques et à la production de gaz qui favorise la création de porosité, il est très aisé de constater la différence avec l'échantillon témoin (série A)

La diminution de la masse volumique représente un grand avantage, en effet les pores ainsi produit lors de la cuisson diminue grandement le poids et en se remplissent d'air, favorise l'isolation thermique et phonique

Le tableau suivant représente le pourcentage de réduction de la masse volumique apparente des séries avec ajout par rapport à la série d'échantillon témoin.

Le pourcentage de réduction de la M_v représente une meilleure indication que la M_v en elle-même car il nous permet de prévoir le poids de notre produit en fonction du pourcentage d'ajout.

Tableau III.23 : pourcentage de réduction de la masse volumique apparente

Série	0 %	10 %	20 %	30 %	50 %
Pourcentage de réduction de la M_v		9.87	12.48	18.62	27.17

VI. Coefficient d'absorption d'eau :

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

Le coefficient C d'absorption d'eau de chaque brique est conventionnellement exprimé par la formule : [1]

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

Avec :

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

S : surface de la face immergée exprimée en cm^2 .

t : temps en minutes écoulées depuis le début de l'immersion, dans les conditions de l'essai (t=10mn)

La formule précédente s'écrit alors : $C = 31.6 * \left(\frac{M}{S}\right)$

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

a. Mode opératoire :

Après cuisson des briques, on laisse refroidir jusqu'à température ambiante, on les pèse et on note leur masse, puis on les immerge dans l'eau de manière à ce qu'elles soient à 5mm au-dessous du niveau de l'eau, on laisse tremper 10 mn puis on retire les briques et on les essuie avec un linge humide, et on pèse à nouveau pour déterminer la masse d'eau absorbée.

Les limites admissibles de C des produits céramiques sont données au tableau suivant (Tableau III.24). [1]

Tableau III.24 : Limites admissibles du coefficient d'absorption d'eau. [1]

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

b. Résultats et interprétation :

Tableau III.25 : coefficient d'absorption d'eau série A 0% d'ajout.

Série	Poids sec	Poids humide	Masse d'eau	C%
A1	353.70	410.59	56,89	7,91
A2	353.35	304.49	50,14	6,97
A3	349.39	393.89	44,50	6,19
A4	354.57	398.06	43,49	6,05
A5	354.60	401.75	47,15	6,56
A6	353.25	409.15	55,90	7,77
Moyenne C %	6.91 %			

Tableau III.26 : coefficient d'absorption d'eau série B 10% d'ajout.

Série	Poids sec	Poids humide	Masse d'eau	C%
B1	339,89	406,84	66,95	9,04
B2	335,72	402,48	66,76	9,02
B3	324,85	388,93	64,08	8,66
B4	340,98	406,69	65,71	8,88
B5	343,66	412,64	68,98	9,32
B6	338,28	402,15	63,87	8,63
Moyenne C %	8.92 %			

Tableau III.27 : coefficient d'absorption d'eau série C 20% d'ajout.

Série	Poids sec	Poids humide	Masse d'eau	C%
C1	302,17	375,06	72,89	10,26
C2	303,4	374,52	71,12	10,01
C3	306,74	379,59	72,85	10,25
C4	309,05	384,22	75,17	10,58
C5	310,33	381,78	71,45	10,06
C6	301,71	371,43	69,72	9,817
Moyenne C %	10.16 %			

Tableau III.28 : coefficient d'absorption d'eau série D 30% d'ajout.

Série	Poids sec	Poids humide	Masse d'eau	C%
D1	279,25	351,09	71,84	10,11
D2	281,80	354,38	72,58	10,22
D3	280,56	359,31	78,75	11,08
D4	283,98	358,05	74,07	10,43
D5	286,98	361,62	74,64	10,51
D6	289,00	362,62	73,62	10,36
Moyenne C %	10.45 %			

Tableau III.29 : coefficient d'absorption d'eau série E 50% d'ajout.

Série	Poids sec	Poids humide	Masse d'eau	C%
E1	246,9	331,88	84,98	12,07
E2	249,04	336,83	87,79	12,47
E3	248,2	334,97	86,77	12,33
E4	253,73	336,54	82,81	11,76
E5	255,00	338,72	83,72	11,89
E6	253,54	337,38	83,84	11,91
Moyenne C %	12,07 %			

Une faible absorption d'eau assure une bonne adhérence du mortier sur les briques, c'est donc une qualité qui est souhaitée, et en l'occurrence notre brique possède un faible coefficient d'absorption tout à fait admissible (Tableau III.24).

Le coefficient d'absorption augmente en fonction de l'accroissement du pourcentage d'ajout (Figure III.9), cela s'explique par le fait que plus il y'a d'ajout plus la brique est poreuse, et donc il ya plus de vide ou l'eau peut potentiellement venir se loger.

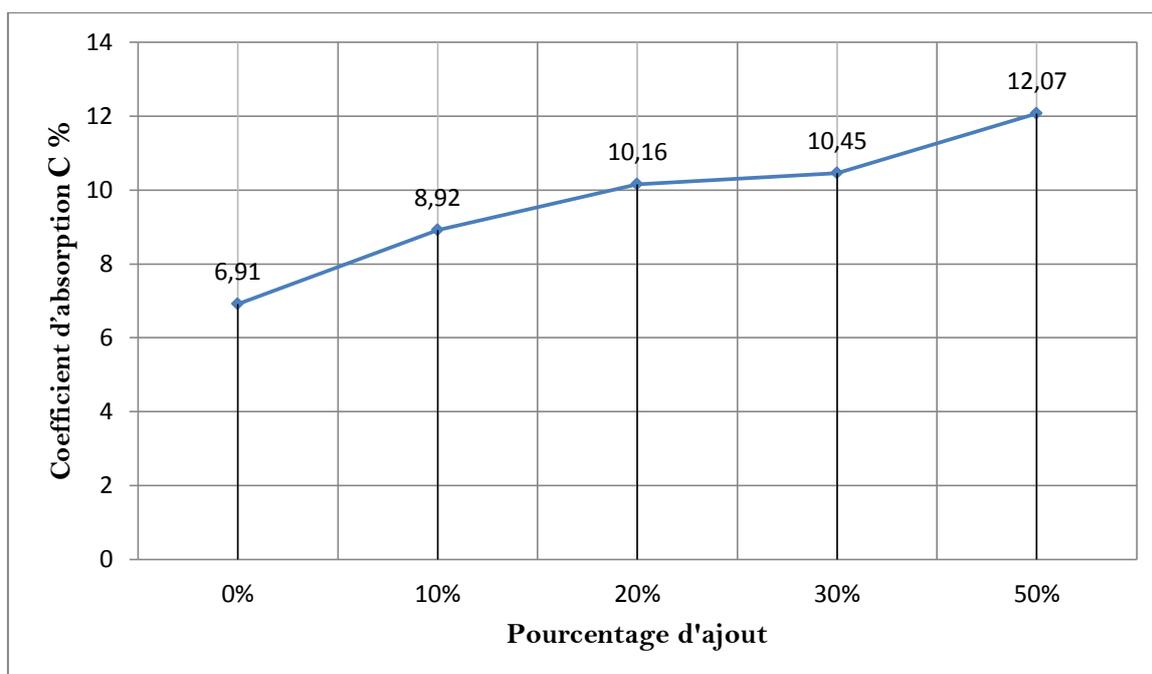


Figure III.9 : Evolution du coefficient d'absorption en fonction du pourcentage d'ajout.

VII. Détermination de la résistance à la compression :

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

Tableau III.30 : résistance à la compression (NA 5023) et masse volumique apparente (NA 5022) des produits de terre cuite. [1]

	Résistance à la compression (MPa)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
Brique plaine ou perforée	10 à 40	f à 1.8

a. Mode opératoire :

Avant le test de résistance à la compression, on élimine les arêtes résultantes du moulage. Les briques ayant une humidité supérieure à 6 % doivent être séchées à des températures supérieures à 60C° jusqu'à obtenir une teneur en humidité de 2 à 3 %. [1]

L'épreuve de la résistance à la compression doit être réalisée par une machine à essai de compression.

Le tableau suivant (Tableau III.30) donne les limites de variation de la résistance à la compression et la masse volumique des briques de terre cuite. [1]

b. Résultats et interprétation :

L'essai a été réalisé sur 6 éprouvettes pour chaque série, les résultats des essais sont reportés sur les tableaux ci-dessous (Tableau III.31 à III.35).

Tableau III.31 : résultat essai de compression série A 0%.

Série	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Résistance à la compression en MPa	49.37	50.98	45.55	55.58	41.23	50.18
Moyenne en MPa	48.81					

Tableau III.32 : résultat essai de compression série B 10%.

Série	B1	B2	B3	B4	B05	B6
Résistance à la compression en MPa	33.04	31	32.64	35.72	34.98	34.46
Moyenne en MPa	33.64					

Tableau III.33 : résultat essai de compression série C 20%.

Série	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Résistance à la compression en MPa	25.72	23.02	25.89	28.52	20.92	24.12
Moyenne en MPa	24.69					

Tableau III.34 : résultat essai de compression série D 30%.

Série	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Résistance à la compression en MPa	11.83	13.58	11.97	12.67	12.58	13.62
Moyenne en MPa	12.70					

Tableau III.35 : résultat essai de compression série E 50%.

Série	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Résistance à la compression en MPa	6.57	5.50	5.73	6.57	7.74	6.62
Moyenne en MPa	6.45					

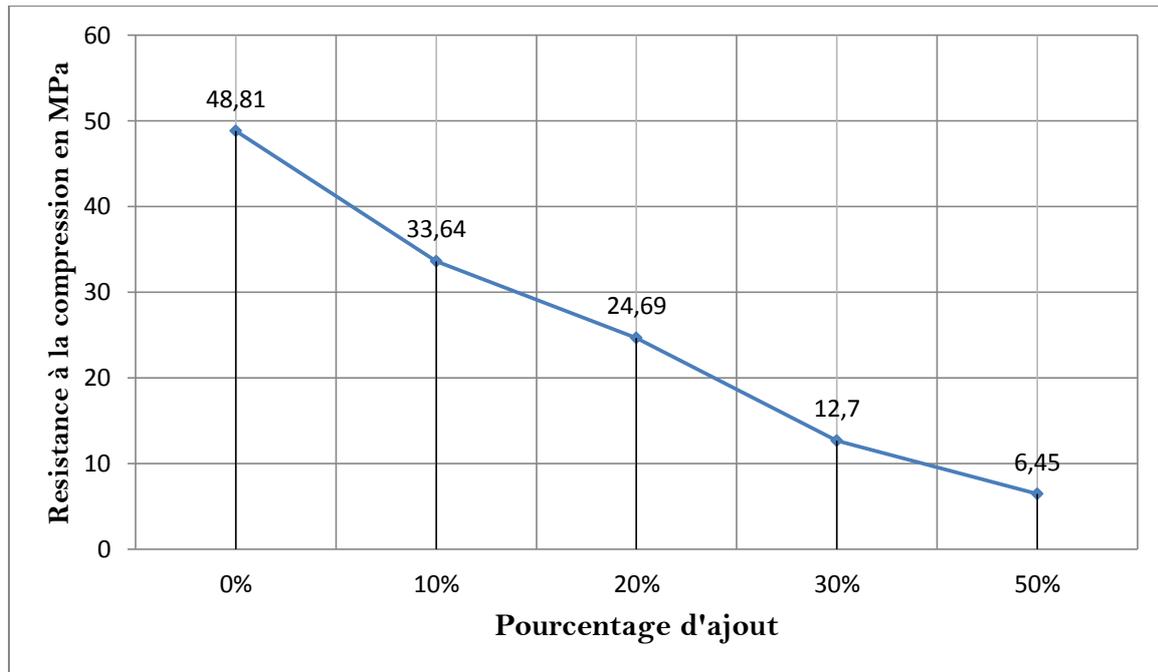


Figure III.10 : Evolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage d’ajout.

Tableau III.36 : pourcentage de réduction de la résistance à la compression par rapport à l’échantillon témoin

Série	A 0%	B 10%	C 20%	D 30%	E 50%
% réduction de la résistance à la compression		31.07%	49.41	73.98	86.78

Les figures (Figure III.10 et Tableau III.36) nous permettent de mieux comprendre l’évolution de la résistance à la compression des briques en fonction du pourcentage d’ajout.

La forte teneur en matière organique donne des briques plus poreuses et légères mais en contrepartie elles sont moins résistantes.

La résistance des briques diminue fortement avec l’ajout, mais reste dans les normes jusqu’à une teneur de 30%.

Vu que les briques ne sont pas utilisées comme élément porteur, la résistance à la compression peut être négligée en faveur de la légèreté, car étant utilisé comme élément de

remplissage ou de parement, une plus grande légèreté va induire moins de contraintes sur les éléments porteurs de la structure du bâtiment.

De plus, on peut constater que les briques utilisées dans la construction ont une résistance à la compression qui dépasse de loin celle qui leur est demandées.

VIII. Conclusion :

L'objectif de ce chapitre est d'étudier les effets d'utilisation de la terre décolorante usagée ou (TDU) sur les propriétés physicomécaniques de la brique, pour cela les critères suivants ont été examinés :

- ❖ La limite de plasticité et de liquidité ou limites d'Atterberg.
- ❖ L'aspect et la couleur des produits après la cuisson.
- ❖ La masse volumique apparente.
- ❖ Le coefficient d'absorption d'eau.
- ❖ La résistance à la compression.

La production de brique est un processus long qui dure au moins sept jours, six jours pour le séchage qui sont divisés en trois jours à l'air libre et trois autres jours à l'étuve à 105 C°, et une autre journée pour la cuisson.

Après démoulage des briques, ces dernières ont une belle apparence, compacte et sans défaut (fissure ou boursouffure), l'intégrité des échantillons de briques n'a pas été altérée par le séchage, elles ont gardé le même aspect sans fissures.

Cette étape est la plus délicate de tout le processus de production, et le paramètre le plus important de cette étape est la détermination des limites de plasticité, cette étape est primordiale pour avoir une bonne pâte avec une consistance optimale pour le façonnage.

Il s'est avéré que l'ajout augmente la teneur en eau, la raison est liée au fait que c'est de la montmorillonite qui est une argile gonflante avec une grande capacité d'adsorption.

Le produit s'est révélé très poreux, les pores sont la conséquence directe de la combustion des matériaux organiques contenus dans notre ajout à savoir l'huile adsorbée par cette dernière.

En fonction de cette porosité on peut interpoler et déduire certaines caractéristiques du produit final tel que : la masse volumique apparente, la résistance, l'absorption d'eau, la conductibilité thermique et phonique, et grâce à cela nous pouvons tirer quelques conclusions parmi lesquelles nous pouvons citer :

- ❖ La plasticité diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout.
- ❖ la perte de poids au séchage augmente graduellement de la série A vers la série E cela s'explique par le fait que l'humidité de façonnage suis la même courbe d'évolution.
- ❖ Une augmentation proportionnelle de la perte au feu en fonction du pourcentage d'ajout, qui est du à l'augmentation de la teneur en matériaux organiques, ces derniers subissent une combustion et produisent des gaz qui produisent à leur tour des pores.
- ❖ Le retrait au séchage et le retrait total à la cuisson sont proportionnels au pourcentage d'ajout ; cela est dû au caractère gonflant de la TDU qui est de la Montmorillonite, l'eau de façonnage en se retirant fait dégonfler les feuillets.
- ❖ Le coefficient d'absorption d'eau augmente en fonction du pourcentage d'ajout mais reste très acceptable même pour la série E 50% qui est très en dessous de la limite.
- ❖ La masse volumique apparente diminue avec l'augmentation du pourcentage d'ajout. La conductibilité thermique d'un matériau est directement liée à sa masse volumique, la diminution de celle-ci entraîne la diminution de sa conductibilité thermique. [1] [2]
- ❖ La résistance à la compression est inversement proportionnelle au pourcentage d'ajout, elle reste dans les normes pour les séries B, C, et D mais devient très faible pour la série E 50% qui atteint une baisse par rapport à l'échantillon témoin de 86.78% (Tableau III.35).
- ❖ Les produits obtenus avec un ajout de TDU se montrent particulièrement poreux et légers, avec une diminution de poids de 18.62 % par rapport à l'échantillon témoin pour l'échantillon D 30% (Tableau III.23) qui est le plus prometteur et qui possède théoriquement une bonne isolation thermique et phonique.

Les briques obtenus avec un ajout de terre décolorante usagée, respecte globalement les normes, et apporte même une amélioration de certaines caractéristiques de la brique, c'est pour cela qu'il est tout à fait envisageable, de valoriser ce déchet dans l'industrie des terres cuites, et de ce fait d'apporter une solution économiquement viable qui s'inscrit dans la durabilité, pour l'élimination de ce déchet.

Bibliographie

IX. Bibliographie :

[1] : DJADOUF Samia " Etude de l'influence des ajouts (grignon d'olive et foin) sur les caractéristiques physico-mécaniques de la brique de terre cuite" mémoire de magister université de Bejaïa 2007.

[2] : Michel Kornmann avec l'assistance des ingénieurs du Centre Technique des Tuiles et Briques " Matériaux de construction en terre cuite Fabrication et propriétés" Éditions Septima 2005

[3] : Michel Kornmann "Matériaux de terre cuite – Matière de base et fabrication, Techniques de l'Ingénieur, C905, 2009.

[4] : Matériaux de terre cuite Propriétés et produits Michel Kornmann article [C 906] technique de l'ingénieur

[5] : Matériaux de terre cuite Données numériques Michel Kornmann article [C 907] technique de l'ingénieur

[6] : Les céramiques silicatées Philippe BLANCHART article [n 4800] technique de l'ingénieur

[7] : les produits de terre cuite Jean SIGG

[8] : Matériaux de terre cuite Lucien ALVISET article [C 905] technique de l'ingénieur

[9] : CTTB. – Tuiles et briques de terre cuite, caractéristiques, mise en œuvre et solutions pour le bâtiment. Le Moniteur, Paris (1998).

[10] : KORNMANN (M.) et CTTB. – Clay bricks and roof tiles, manufacturing and properties. Société de l'industrie minérale, Paris ISBN 2-9517765-6-X (2007).

[11] : JACUBOWIEZ (I.). – Fours industriels. [BE 8 842] (1998).

[12] : CHARREAU (A.) et CAVAILLE (R.). – Séchage Théorie et calculs. [J 2 480] (1991).

[13] : CHARREAU (A.) et CAVAILLE (R.). – Operations unitaires Séchage II Appareillage et choix d'un procédé. [J 2 482] (1991).

[14] : PANIEZ (G.). – Eléments de thermique des fours. [BE 95 100] (1997).

Résumé

Dans ce modeste travail on s'est efforcé d'apporter une réponse à un problème d'actualité à savoir le traitement d'un déchet, qui est une terre décolorante usée (TDU) rejeté par une raffinerie d'huile alimentaire.

Pour cela on a opté pour une valorisation dans le domaine des terres cuites et plus précisément dans la brique de terre cuite, nous avons pour cela confectionné cinq séries d'échantillons avec des teneurs variables en TDU 10 % 20 % 30 % et 50 % qui ont été comparées à une série témoin avec 0 % qui est constituée uniquement d'argile provenant de la briqueterie de Remila.

On a procédé à la mesure de plusieurs paramètres telle que : absorption' eau, mesure de la masse volumique apparente, retrait au séchage et perte au feu, ainsi que des Tests de résistance à la compression

Les résultats obtenus sont très encourageants, car les briques confectionnées avec un apport en TDU de 30 % restent dans les normes.

Mots clés : Brique, terre décolorante, terre cuite.