

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN

DE TIARET.



FACULTÉ DES SCIENCES

APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Présenté par :

BENDAOUD Soumia
&
HELLAL Elhaoudja

Sujet du mémoire

**VALORISATION DU VERRE RECYCLÉ DANS LA
FABRICATION DE LA BRIQUE**

Soutenu, le 12/11/2020, devant le jury composé de :

M. SERBAH B.

Président

M. BEKKI H.

Rapporteur

M^{elle} RENNAK Z.

Examineur

M^{me} DRAOUI A.

Examineur

PROMOTION:2019/2020

REMERCIEMENTS

Merci à Dieu ALLAH pour tous ce qu'il nous a offert : La vie, la santé, le courage, l'intelligence et la force, afin de parvenir jusqu' au bout de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement notre encadreur BEKKI El Hadj qui nous a consacré beaucoup de son temps, ainsi que pour ses précieux conseils et sa grande patience.

Nous remercions les membres du jury pour avoir examiné notre travail.

Nous tenons à remercier le directeur de la briqueterie de Medrissa qui a accepté de nous accueillir dans son usine pour effectuer un stage pratique. Nous remercions tout le personnel de cette briqueterie, particulièrement, messieurs HAMRI Abdelwahab et Mahfoud ;

Nos remerciements vont à tous les techniciens du LTPO qui se sont dévoués pour répondre à nos questions et de nous avoir fait profiter de leur expérience.

Nous exprimons notre sincère gratitude à l'équipe du Hall technologique qui nous a aidés à réaliser une partie de notre travail. Nous citons, plus particulièrement, Melle Lazaâr d'avoir veiller à la cuisson de nos éprouvettes.

Nous remercions aussi à l'équipe de recherche du laboratoire de Technologie industrielle d'avoir accepté de réaliser certains essais de leur laboratoire, en particulier, messieurs HADDOUCHE et AISSAT.

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur KATBI, géologue au LTPO, pour avoir facilité notre accès à la briqueterie et de nous avoir fournis les matériaux nécessaires pour le travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au Professeur BELARBI, directeur du laboratoire Synthèse et catalyse, et son équipe de nous avoir fait l'analyse DRX de nos échantillons.

Nous exprimons notre sincère gratitude au Professeur BENHEBAL pour son aide dans l'analyse des résultats de la DRX.

Nous remercions tous nos enseignants du département de génie civil et à leur tête le chef de département, Monsieur BOUKKAZ Khaled.

Enfin, nous témoignons notre reconnaissance à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de notre mémoire.

Merci à tous.

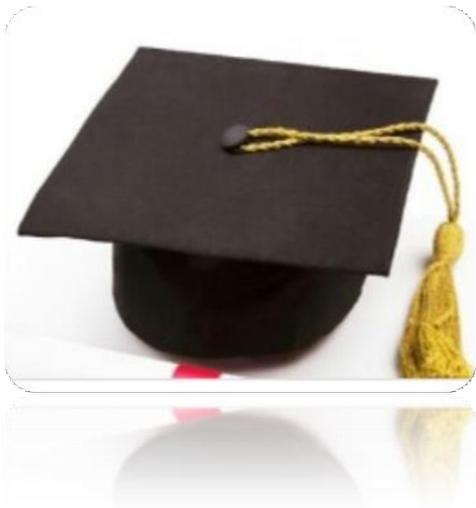
dedicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père et à ma chère mère, que dieu les protège.
A mes frères Fatima, Mira, Ahmed, Yahier, Nour, et à l'âme de ma sœur Zainab -que
dieu ait pitié d'elle-.

A tous mes amis.

A tous ceux qui sont portés par mon cœur et non écrits par ma plume.



dedicace

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher père et à ma chère mère, que dieu les protège.

A mes frères doaa, riham, souad, fatima, nourdine, ibrahime, hasseni .

A tous mes amis.

A tous ceux qui sont portés par mon cœur et non écrits par ma plume.



Table des Matières :

Résumé

Abstract

Abréviations et notations

Introduction générale1

Partie bibliographique :

Chapiter I : techinque de recyclage de verre

I-1. Introduction :2

I-2. Le verre :2

I-2-1. Définition du verre :2

I-2-2. Composition du verre :3

I-2-3 .Les matières premières du verre :4

I-2-4. Historique de verre :5

I-2-5. Les types de verre :5

I-2-5-1. Verres naturels :5

I-2-5-2. Verres industriels :5

I-2-5-3. Verres spéciaux :6

I-2-6. Les propriétés de verre :7

I-2-6-1. Propriétés physiques :7

I-2-6-2. Propriétés chimiques :7

I-2-6-3 . Propriétés thermique :7

I-2-6-3. Propriétés acoustiques :8

I-2-7. Fabrication de verre :8

I-3. Le recyclage :8

I-3-1. Définition de recyclage :8

I-3-2. Procédés de recyclage :9

I-3-3 .Le recyclage de verre :9

I-3-4. Les étapes du recyclage du verre :9

I-3-5. Tri du verre :9

I-3-5-1. Le tri sélectif :10

I-3-5-2 .Tri mécanique :11

I-3-5-3 .Tri avec rayons X :11

I-3-5-4. Tri optique de verre :11

I-3-6. Recyclage du verre en Algérie :12

I-3-7. Domaines de recyclage des déchets de verre :12

I-3-8. Impact du recyclage dans l'industrie :13

Conclusion :13

Chapiter II : Fabrication de la brique

II-1 .Introduction :14

II-2. Définition :14

II-3. Historique :14

II-4. Classification des briques :	15
II-5. Type des briques :	16
II-5-1. Brique ordinaire :	16
II-5-2. Brique poreuses :	16
II-5-3. Briques d'argiles creuses à perforations :	17
II-5-4. La brique de verre :	17
II-6. Les caractéristiques de la brique :	18
II-7. Les composants de brique rouge :	18
II-7.1 Matières premières dans l'industrie des briques :	18
II-7.2 .Matières dégraissantes :	19
II-8. Procédé de fabrication de la brique :	20
II.8.1-Extraction :	20
II.8.2 -Préparation de l'argile :	20
II.8.3- Façonnage :	21
II.8.4- Séchage :	22
II .8.5- Cuisson :	23
II-9. Les essais sur la brique :	25
II-10. Respect de l'environnement :	26
Conclusion :	27

Chapiter III : Procédé industriel utilisé dans les briqueteries

III-1 .Introduction :	27
III-2.Présentation de la briqueterie :	27
III-2-1. Situation géographique de l'usine :	27
III-2-2. L'organigramme de la briquèterie :	27
III-3. Processus de la production :	29
III-4. Préparation d'argile :	30
a). Concassage :	30
b). Extraction :	30
c). Stockage des Matériaux:	31
d). L'organigramme pour préparation de l'argile dans l'usine:	31
III-5. Fabrication de la brique :	33
a). Façonnage :	33
b). Séchage :	34
c). Cuisson :	35
d). Contrôles des produits :	36
e). Emballage :	37
III-6. Les points négatives dans l'usine :	38
Conclusion :	38

Partie expérimentale :

Chapiter I : Essais utilisés pour la sélection des matériaux et la résistance de la brique

I-1. Introduction :	39
I-2. Identifications des matériaux :	39
I-2-1. Les essais sur l'argile :	39
A). Analyse granulométrique :	39
B). Essai d'Analyse granulométrique des sols méthode de sédimentation NF P 94-057:	40
C).Détermination des Limites d'ATTERBERG :	41
D). Essai de bleu de méthylène NFP 94-068 :	44
I-2.2. Les essais sur le sable :	45
A). Analyse granulométrique :	46
B). Equivalent de sable NF EN 933-8 :	46
I-2- 3. Les essais sur le déchet de verre :	47
I-3. Essais mécaniques sur les éprouvettes de brique :	47
a). Préparation des matériaux:	48
i).Argile :	48
ii). Sable :	49
iii). Déchet de verre :	49
b). Préparation des mélanges :	50
c). Préparation d'éprouvettes de brique :	51
d). Essais sur les éprouvettes de brique :	52
I-4. Résistances mécaniques :	59
I-4-1. Essai de flexion :	59
I-4-2. Essai de Compression :	61
I-5. L'essai chimique :	62
I-5-1. L'essai diffraction de rayon X :	62
Conclusion :	63

Chapiter II : Présentation et Interprétation des résultats

II-1. Introduction :	63
II-2 . Identification des matériaux utilisés:	63
II-2-1. Identification de l'argile :	63
II-2-2. Identification du sable :	64
II-2-3 . Identification du Verre broyé :	66
II-3. Essais Mécaniques:	67
II-3-1. Essais de Flexion :	67
II-3-2. Essais de Compression :	69
II-4. Essais de Diffraction aux rayons (DRX):	69
Conclusion :	76
Conclusions générales	77

Liste de figure :

Partie bibliographique :

Figure I-1 : variations thermiques du volume spécifique V_0 et de l'enthalpie H lors du passage de l'état liquide à l'état solide (vitreux ou cristallin).....	3
Figure I- 2 : diagramme de fabrication de verre	8
Figure I-3 : Le tri de verre	9
Figure II-1 : Porte d'Ishtar, musée de Pergame, Berlin.....	15
Figure II-2 : Briques pleines et perforées.....	16
Figure II-3 : Briques creuses comprimées par voie demi-humide.....	17
Figure II-4 : Brique de verre.....	17
Figure II-5 : Vue d'un chambrà de séchage.....	22
Figure II-6 : Vue d'un four tunnel et profil de température.....	24
Figure II- 7: l'appareil de la résistance a compression.....	25
Figure III-1 : Situation géographique du gisement.....	27
Figure III-2: les produits finis de la briqueterie (12T et 8T).....	28
Figure III- 3: Schéma de production de la brique.....	29
Figure III-4 : Vue de la carrière d'argile.....	30
Figure III-5 : Photo montrant le mélange (sable + argile).....	31
Figure III-6 : Stockage des mélanges.....	32
Figure III- 7 : Tapis mobile.....	33
Figure III-8 : Structure de box.....	33
Figure III-9: programme de séchage	34
Figure III-10: vue d'en haut / sortie de four de cuisson.....	35
Figure III-11 : Vue latéral du four de cuisson.....	35
Figure III-12 : les systèmes de remorquage.....	36
Figure III- 13 : Le produit final destiné à la commercialisation.....	37
Figure III- 14 : distribution	37

Partie expérimentale :

Figure I- 1: essai de sédimentation.....	40
Figure I-2 : Etat du sol en de la teneur en eau	42
Figure I-3 : Appareil de Casagrande.....	42
Figure I-4: essai de VBS.....	45
Figure I-5 : L'argile de Medrissa.....	48
Figure I-6: L'argile préparée.....	48
Figure I -7 : le sable préparé	49
Figure I-8 : Déchet de verre préparé	49
Figure I-9 : Mélange (argile+sable).....	50
Figure I-10 : Malaxage (Argile+Sable+eau).....	50
Figure I-11: Moule en bois	51
Figure I-12 : la pièce métallique de presse	51
Figure I-13 : Presse Marshall	52
Figure I-14 : l'éprouvette sécher.....	52
Figure I-15 : Eprouvette de brique après la cuisson.....	53
Figure I-16 : Eprouvette de brique dans le four.....	53

Figure I-17 : four de 1200°C.....	54
Figure I-18 : Four de 1700°C.....	54
Figure I-19 : éprouvette n°6 après la cuisson.....	55
Figure I-20: Courbe de la cuisson à 1000°C des éprouvettes n° (1-4) de brique (4*4*16) cm 3.....	55
Figure I-21 : Courbe de la cuisson à 1050°C des éprouvettes n° (2-3) de brique (4*4*16) cm 3.....	56
Figure I-22 : Courbe de la cuisson à 1200°C de éprouvette n° (6) de brique (4*4*16) cm 3.....	57
Figure I-23 : Courbe de la cuisson à 1200°C des éprouvettes n° (5) de brique (4*4*16) cm 3.....	58
Figure I-24 : les éprouvettes avant le test	59
Figure I- 25 : machine de flexion	59
Figure I-26: les éprouvettes (7 -9)	60
Figure I-27 : Machine de compression.....	61
Figure I- 28 : machine diffractomètre	62
Figure II-1 : Courbe granulométrique de l'argile.....	63
Figure II-2: Analyse DRX effectuée sur l'échantillon d'argile.....	64
Figure II-3 : Courbe granulométrique du sable.....	65
Figure II-4: Analyse DRX effectuée sur l'échantillon de sable.....	65
Figure II-5 : Courbe granulométrique du verre broyé.....	66
Figure II-6: Analyse DRX effectuée sur l'échantillon de verre broyé.....	66
Figure II-7: Résultats des essais de flexion sur les différentes éprouvettes de brique	67
Figure II-8: Résultats des essais de compression sur les différentes éprouvettes de brique	69
Figure II-9: Spectre de réponse de l'éprouvette n°1 (75%A+25%S) cuite à 1000°C.....	70
Figure II-10: Spectre de réponse de l'éprouvette n°2 (75%A+25%S) cuite à 1050°C.....	70
Figure II-11: Spectre de réponse de l'éprouvette n°3 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1050°C.....	71
Figure II-12: Spectre de réponse de l'éprouvette n°4 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1000°C.....	72
Figure II-13 : Spectre de réponse de l'éprouvette n°5 (75%A+25%S) cuite à 1200°C.....	72
Figure II-14: Spectre de réponse de l'éprouvette n°6 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1200°C.....	73
Figure II-15: Spectre de réponse de l'éprouvette n°7 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1100°C.....	73
Figure II-16: Spectre de réponse de l'éprouvette n°8 (75%A+18,25%S+6,25V) cuite à 1100°C.....	73
Figure II-17: Spectre de réponse de l'éprouvette n°9 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 800°C.....	74
Figure II-18: Spectre de réponse de l'éprouvette n°10 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 900°C.....	74
Figure II-19: Spectre de réponse de l'éprouvette n°11 (75%A+25%S) cuite à 900°C.....	74
Figure II-20: Spectre de réponse de l'échantillon de brique fabriquée à l'usine (75%A+25%S) cuite à 860°C	75

Liste des Tableau :

Partie bibliographique :

Tableau I- 1: les matières premières du verre	4
Tableau I-2 : composition chimique des principaux types de verr.....	6
Tableau I-3 : Capacité de recyclage en Algérie	11

Partie expérimentale :

Tableau I-1 : Résultat de l'essai d'analyse granulométrique d l'argile.....	39
Tableau I-2 : Résultat de l'essai de SD pour l'argile.....	41
Tableau I-3 : Résultat de l'essai de limite de liquidité dl'argile.....	43
Tableau I-4 : Résultat de l'essai limite de plasticité d'argile.....	44
Tableau I-5 : résultat de l'essai de VBS pour l'argile.....	45
Tableau I-6: Résultat de l'essai d'analyse granulométrique de sable.....	45
Tableau I-7: Caractéristiques des différents mélanges.....	53

ABREVIATIONS ET NOTATIONS

T_g : la température de la transition vitreuse

T_F : la température de cristallisation

V₀ : le volume spécifique

X : la composition chimique dans c'est type de verre

R_i : masse des refus cumulés

M_s : la masse sèche

W : la teneur en eau

M_h : la masse humide

PR_i : pourcentage des refus

T_i : pourcentage des tamis

SD : essai d'analyse granulométrique des sols méthode de sédimentation

W_L : limite de liquidité

W_P : limite de plasticité

I_P : Indice de plasticité

Ø : Diamètre

L : longueur

N : les nombres de coups

P_h : poids humide

P_s : poids sec

VBS : essai de bleu de méthylène

V : volume

m : masse

ES : équivalent de sable

h₁ : hauteur (sable propre + éléments fins)

h₂ : hauteur (sable propre seulement)

DRX : diffraction de rayon X

M_m : masse de mélange

M_e : quantité d'eau

t_c : Temps de chauffage

T : température de chauffage

V_c : vitesse de chauffage du four

F_{max} : la force de la charge

A : surface

σ : Contrainte de la compression

R : la résistance de la charge à la flexion

λ : Longueur d'onde du faisceau de rayons X incident

θ : Angle que forme les rayons nX incidents ou diffractés avec le plan réticulaire

Résumé

Des centaines de milliers de tonnes de déchet de verre peuvent être récupérés chaque année en Algérie. Le recyclage du verre pour la fabrication de nouveaux produits nécessite un tri sélectif qui fait augmenter le prix de recyclage, d'où l'intérêt d'utiliser ces déchets dans d'autres domaines, tel que les matériaux de construction.

Les briques sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction, elles sont composées de matières dégraissantes et de matières graissantes. Dans cette étude nous avons substitué une partie de la matière dégraissante (sable) par du verre broyé, et cela en vue d'augmenter la résistance de brique et réduire la température de cuisson. Des éprouvettes de brique de forme prismatiques ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) ont été confectionnées avec différents mélanges d'argile, de sable et de verre, ensuite cuites à différentes températures (de 800°C à 1200°C), puis soumises aux essais mécaniques (flexion et compression) et enfin aux essais de diffraction par rayons X.

Il a été trouvé que l'ajout du verre broyé au mélange argileux permet d'améliorer les résistances mécaniques tant en compression qu'en flexion. La diffraction par rayon X a mis en évidence la densification de la structure de la brique suite à la cuisson des éprouvettes de la brique, ce qui traduit par une amélioration de la résistance mécanique.

Mots-clés : *Argile, brique, verre recyclé, température de cuisson, résistance, analyse DRX.*

Abstract

Hundreds of thousands of tons of glass waste can be recovered each year in Algeria. Recycling glass for the manufacture of new products requires selective sorting which increases the cost of recycling; this is why it is very interesting to reuse this waste in other areas, such as building materials.

Bricks are considered as the most important elements in the field of construction; they are composed of degreasing materials and greasing materials. In this study, we replaced a part of the degreasing material (sand) with crushed glass, in order to increase the resistance of the brick and reduce the firing temperature. Prismatic brick specimens (4X4X16 cm³) were made with different mixtures of clay, sand and glass, then fired at different temperatures (from 800 ° C to 1200 ° C), then subjected to mechanical tests (bending and compression) and finally to X-ray Diffraction tests (XRD).

It has been found that adding crushed glass to the clay mixture improves mechanical strengths, both in compression and in flexion. The X-ray diffraction indicated densification of the brick's structure after firing process, which results in an improvement in mechanical resistance.

Keywords: Clay, brick, recycled glass, firing temperature, resistance, XRD analysis.

ملخص

يمكن استعادة مئات الآلاف من الأطنان من نفايات الزجاج كل عام في الجزائر. إعادة تدوير الزجاج لتصنيع منتجات جديدة يتطلب الفرز الانتقائي مما يزيد من تكلفة إعادة التدوير ، ومن ثم الاستفادة من استخدام هذه النفايات في مجالات أخرى ، مثل مواد البناء.

يعتبر الطوب من أهم العناصر في مجال البناء ، فهو يتألف من مواد إزالة الشحوم ومواد التشحيم. في هذه الدراسة ، قمنا باستبدال جزء من مادة إزالة الشحوم (الرمل) بالزجاج المطحون ، وذلك لزيادة مقاومة الطوب وتقليل درجة حرارة الاحتراق. تم صنع عينات الطوب المنشورية ($4 \times 4 \times 16$ سم 3) من خلطات مختلفة من الطين والرمل والزجاج ، ثم تم إطلاقها في درجات حرارة مختلفة (من 800 درجة مئوية إلى 1200 درجة مئوية) ، ثم خضعت لاختبارات ميكانيكية (الانحناء) والضغط) وأخيراً إلى اختبارات حيود الأشعة السينية. لقد وجد أن إضافة الزجاج المسحوق إلى خليط الطين يحسن القوة الميكانيكية في كل من الانضغاط والانتشاء. أظهر حيود الأشعة السينية تكاثف بنية الطوب بعد إطلاق قطع الاختبار من الطوب ، مما يؤدي إلى تحسين المقاومة الميكانيكية.

الكلمات المفتاحية: الطين ، الطوب ، الزجاج المعاد تدويره ، درجة حرارة النار ، المقاومة ، تحليل DRX.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Dans le cadre de notre formation de master génie civil, nous avons été amenés à finaliser notre spécialisation par un mémoire de fin d'études en abordant un sujet important traitant de l'environnement et de l'économie sous le titre "valorisation du verre recyclé dans la fabrication de brique".

Des centaines de milliers de tonnes de déchet de verre peuvent être récupérés chaque année en Algérie. Le recyclage du verre pour la fabrication de nouveaux produits nécessite un tri sélectif qui fait augmenter le prix de recyclage, d'où l'intérêt d'utiliser ces déchets dans d'autres domaines, tel que les matériaux des constructions.

Les briques sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction, elles sont composées de matières dégraissantes et de matière grasse. Dans cette étude nous avons substitué une partie de la matière dégraissante (sable) par du verre broyé, et cela en vue d'augmenter la résistance de brique et réduire la température de cuisson.

Ce mémoire est composé de deux parties : la première partie consiste en étude bibliographique et la deuxième partie consacrée à l'étude expérimentale.

La première partie comporte 3 chapitres :

Le premier chapitre est réservé à l'utilisation du verre et les techniques utilisées pour son recyclage.

Le deuxième chapitre est consacré aux techniques de fabrication de la brique.

Dans le troisième chapitre, on présente la fabrication de la brique rouge dans les usines en Algérie (cadre de stage) .

La partie expérimentale est composée de deux chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter les essais utilisés pour la sélection des matériaux et la détermination de la résistance de la brique.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus et à leurs interprétations.

En fin, on présente les principales conclusions auxquelles on est arrivé ainsi que les perspectives quant à la continuité de ces travaux de recherche

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE :

CHAPITRE 1:
RECYCLAGE DU VERRE

I-1. Introduction :

Dans ce chapitre, on va présenter des généralités sur le verre, les opérations et les étapes de recyclage du verre.

Aujourd'hui, il existe guère de matière qui, sous des formes extrêmement diverses, soit aussi présente dans notre vie quotidienne comme le verre.

I-2. Le verre :

I-2-1. Définition du verre :

Le verre est un corps solide, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion. Le verre est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler transparent et peut prendre de nombreuses formes.

Le verre est amorphe, mais tous les amorphes ne sont pas des verres. Le verre est un état instable de la matière. D'un point de vue thermodynamique, le verre est obtenu à partir d'une phase liquide surfondue solidifiée au point de transition vitreuse, (température de la transition vitreuse, T_g). Le verre, au sens industriel du terme, est un matériau minéral obtenu, à partir d'un liquide, par un refroidissement suffisamment rapide (trempe) pour éviter la cristallisation. Si l'on mesure une propriété physique comme le volume spécifique V_0 au cours de la trempe, on constate que, en général, V_0 diminue avec la température de façon continue. A la température de cristallisation (la température de cristallisation, T_F), V_0 est continu et décroît également dans le liquide surfondu (figure-I-1). A une température appelée température de transition vitreuse T_g , la pente prend une valeur plus faible qu'elle conserve jusqu'aux plus basses températures au dessous de T_g , le matériau ne coule plus. Il se comporte comme un solide : on l'appelle un verre. En général, pour un composé donné, la valeur de T_g , dépend de la vitesse de trempe.

La transition ne semble pas apparaître comme un phénomène critique, provoquant un changement de phase à une température donnée. Il s'agit plutôt d'une transition dynamique, traduisant l'impossibilité pour le système de réorganiser sa structure pour obtenir une configuration d'équilibre. Une trempe plus rapide conduit à une élévation de la température à laquelle cet état hors d'équilibre s'établit [1].

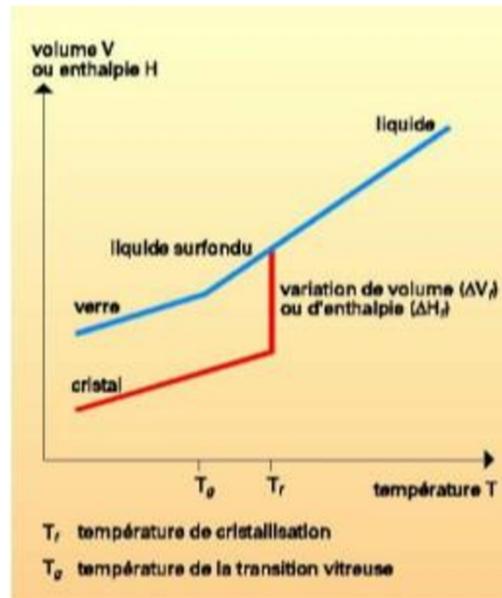


Figure I -1 : variations thermiques du volume spécifique V_0 et de l'enthalpie H lors du passage de l'état liquide à l'état solide (vitreux ou cristallin)

I-2-2. Composition du verre :

Le verre est un matériau inorganique, composé de nombreux oxydes mais le plus souvent élaboré à partir de 3 constituants de base :

- L'oxyde de sodium (SiO_2) ou silice, élément majoritaire, et véritable formateur du réseau vitreux.
- L'oxyde de sodium (Na_2O), appelé fondant provenant de la décomposition de Carbonates synthétiques et qui va transformer la silice en silicate par attaque chimique.
- L'oxyde de calcium (CaO), appelé stabilisant, issu de la décomposition de CaCO_3 . Pour de nombreux verres industriels (verre d'emballage et verre plat), ces 3 éléments représentent environ 95% de leur composition pondérale, ce qui permet de définir le verre sur un plan chimique comme un silicate de sodium et de calcium. En réalité l'oxyde de sodium est souvent accompagné d'oxyde de potassium (K_2O), et l'oxyde de calcium par l'oxyde de magnésium (MgO).
- D'autres éléments, appelés additifs, sont ajoutés au verre pour apporter des propriétés bien spécifiques en fonction des applications envisagées
 - L'oxyde d'aluminium pour accroître la résistance hydrolytique.
- L'oxyde de plomb pour accroître la densité l'indice de réfraction et la brillance du verre.
- L'oxyde de bore (B_2O_3) formateur de réseau, comme la silice, mais apportant une plus grande stabilité thermique.

- Les oxydes métalliques des éléments de transition (Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , CoO , CuO , etc. ...) et certains lanthanides (CeO_2 , Nd_2O_3 ...) pour colorer le verre ou le décolorer
- Des additifs d'oxydoréduction pour ajuster le pouvoir redox du bain de fusion, ce paramètre jouant un rôle important sur la transmission du verre dans l'infrarouge et sur sa teinte finale ; les plus utilisés sont le carbone pour son pouvoir réducteur, et l'oxyde de soufre (SO_3) obtenu par décomposition de sulfate de sodium, pour son pouvoir oxydant [2].

I-2-3 .Les matières premières du verre :

Pour incorporer tous ces éléments constitutifs, l'industrie du verre dispose de nombreuses matières premières, la plupart d'origine naturelle et certaines d'origine synthétique :

- Le sable de carrière est la source essentielle de SiO_2 .
- Le carbonate de sodium, fabriqué par le procédé Solvay (réaction chimique entre le chlorure de sodium et un carbonate de calcium), est l'apport de Na_2O .
- Le calcaire, carbonate de calcium et la dolomie, carbonate mixte de magnésium et de calcium, apportent respectivement les oxydes CaO et MgO .

Des minéraux, les feldspaths, la néphéline et une roche, la phonolite, tous silicates alcalins d'alumine, naturels, sont utilisés comme source d' Al_2O_3 .

- Le sulfate de sodium, est la source de SO_3 , donc l'agent oxydant.
- Les laitiers, des silicates de fer et de calcium produits par les hauts fourneaux, apportent le caractère réducteur, tout comme le charbon utilisé de préférence dans les verres de qualité.
- La chromite, oxyde naturel de chrome et de fer est un des colorants très utilisés pour les verres verts [2].

Tableau I-1 : les matières premières du verre [3]

Vitrifiant	L'indispensable composant	Sable de silice
Fondant	Pour abaisser la température de fusion...	Soude, potasse...
Stabilisant	Pour éviter l'altération du verre...	Oxyde de calcium de magnésium...
Affinant	Pour une matière sans défauts...	Oxyde d'arsenic, Nitraye de sodium ou de potassium...

Colorant	Éléments nécessaires à la coloration du verre ...	Souffre, nickel, fer, cuivre, vanadium...
Opalisant	Éléments utilisés lorsque les verres ne doivent pas être transparents...	Fluor et phosphates...
Feu	Pour créer le miracle de la fusion !	

I-2-4. Historique de verre :

Le verre est considéré comme l'un des plus anciens matériaux façonnés par l'homme, l'origine de la fabrication du verre demeure à nos jours une énigme. D'après les spécialistes, les objets en verre les plus anciens qui ont été découverts, comme les glaçures de céramique, datent du VII^e siècle avant Jésus christ (J.C). On peut parler d'une véritable activité de production à partir de 3500 av .J-C, sous la forme de perles de verre, puis de bagues et des petites figurines fabriquées à l'aide de moules. La technique à base de sable fut développée vers 1500 av J-C. Cette technique consistait à plonger, dans la masse en fusion, un noyau céramique fixé sur une baguette comme forme négative, puis à le faire tourner autour de son axe jusqu' à ce que la masse de verre visqueuse y adhère fermement. La masse obtenue était alors roulée sur une plaque jusqu' à obtenir la forme souhaitée. Le matériau était ensuite refroidi, le noyau retiré et l'objet en verre brut affiné par polissage et meulage. A cette époque, cette technique permettait de créer de petits vasés, récipient et coupes qui étaient colorés. La teinte était obtenue par les combinaisons cuivre-cobalt dans la masse en fusion. Vers 1000 av J-C. l'art du vitrier était répandu dans la vallée du Nil, d'alexandrie à luxor, entre l'euphrate et le tigre, en Irak, en Syrie, à chypre ainsi qu'à Rhodes. Cela a donné naissance à une sorte d'industrie du verre préhistorique [4].

I-2-5. Les types de verre :

I-2-5-1. Verres naturels :

Les verres naturels sont à base de silice SiO_2 et de Na_2O issus de volcans ou de météorites.

I-2-5-2. Verres industriels :

Les matériaux vitreux qui font partie de notre quotidien (vitrage, flacons,...) sont à base de silice SiO_2 , (formateur) et de Na_2O et CaO , (modificateurs).

Les verres sodo-silicates sont chimiquement ' fragiles ' (ils sont légèrement solubles dans l'eau) ; on y a donc ajouté de l'oxyde de calcium pour remédier à cet inconvénient.

I-2-5-3. Verres spéciaux :**1. Verres d'oxydes lourds :**

Il peut être intéressant de remplacer les formateurs à base d'oxyde « légers » tels que SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , par des oxydes « lourds » tels que Sb_2O_3 [5], As_2O_3 [6], TeO_2 [7].

Ce sont des verres possédant un indice de réfraction plus élevé et transmettent plus loin, jusqu'à 6-7 μm [5]. Les verres d'oxydes lourds sont utilisés comme source laser ou comme amplificateur optique.

2. Verres fluorés :

Les fluorures peuvent former des verres comme les oxydes. En effet, le rayon ionique de l'ion F- est très voisin de celui de l'ion O²⁻. En 1975, Marcel et Michel Poulain, chercheurs au laboratoire de chimie minérale de Rennes 1, découvraient par hasard les verres fluorés [8], car l'état vitreux pour de tels matériaux n'est pas un état naturel. Depuis, les verres fluorés se sont développés.

3. Verres de chalcogénures :

Les verres de chalcogénures basés sur les éléments de VI^{ème} groupe (O, X = S, Se, Te) associés aux éléments du V^{ème} groupe (X = Si, Ge) sont reconnus comme des verres à haut indice de réfraction non-linéaire [9, 10]. Ces verres sont également importants pour leurs propriétés optiques dans l'IR (verres transparents jusqu'à 30 μm).

4. Autres verres :

Les autres verres sont constitués d'anions mixtes : verres chalcogénés (O, X, X = F, Cl, Br, I, S, Se, Te) ou verres oxyhalogénés (X = F, Cl, Br, I).

Les différentes compositions chimiques des principaux types de verre sont récapitulées dans le tableau I.2.

Tableau I-2 : composition chimique des principaux types de verre [12].

Types de verre	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	PbO
Verre plat	72.5		1.5	13	0.3	9.3	3	
Verre à bouteilles	73		1	15		10		
Pyrex	80.6	12.6	2.2	4.2		0.1	0.05	
Fibre de verre	54.6	8.0	14.8	0.6		17.4	4.5	
Cristal	55.5				11			33
Verre de lompes	73		1	16	1	5	4	

I-2-6. Les propriétés de verre [12] :

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence. Ses propriétés physiques, chimiques, thermiques, acoustiques sont les suivantes :

1. Propriétés physiques :

- La transparence : mais il peut être opaque ou opalescent.
- La dureté : seuls les diamants et carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohême et le cristal est le plus tendre.
- La densité : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5.
- La résistance et l'élasticité : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- L'imputrescibilité : il ne se putréfie pas.
- L'imperméabilité : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le kérosène ; on dit « qu'il sue ».

2. Propriétés chimiques :

- L'action de l'eau : l'eau agit sur les silicates qui, en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.
- L'action de l'air : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce qui donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- L'action de la lumière : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.
- L'action des acides : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout.

3. Propriétés thermique :

- La dilatation : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre). On retrouve presque les mêmes coefficients que certains métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.
- La conductivité : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre) ; on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250°C.
- Il est ininflammable et incombustible.

4. Propriétés acoustiques :

On demande de plus en plus aux vitrages d'être non seulement une barrière mais aussi un écran acoustique.

Un bruit est la superposition de sons élémentaires qui couvre un spectre de fréquence. L'atténuation sonore due à un vitrage est déterminée quantitativement par son indice d'affaiblissement acoustique que l'on obtient en mesurant, pour chaque bande de fréquence, la

différence entre les niveaux de pression de part et d'autre du vitrage. L'affaiblissement acoustique global croît lorsque la masse du vitrage augmente.

I-2-7. Fabrication de verre :

Le principe de la fabrication de verre est schématisé sur la figure I.2.

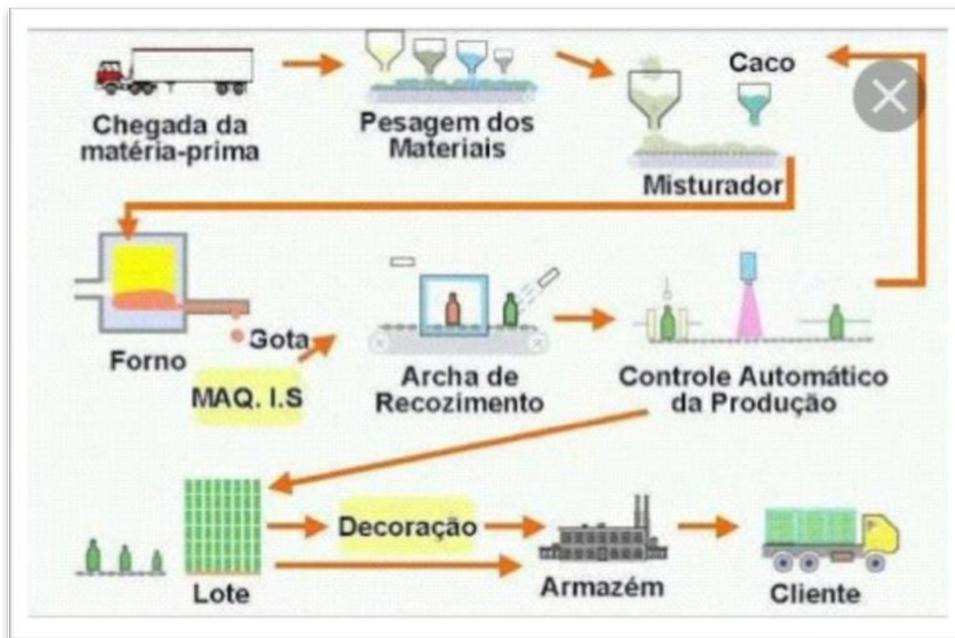


Figure I- 2 : diagramme de fabrication de verre

I-3. Le recyclage :

I-3-1. Définition de recyclage :

La loi sur la qualité de l'environnement ne définit pas clairement le recyclage. Il est toutefois généralement admis que le recyclage est une opération qui consiste à récupérer une matière résiduelle la réintroduire dans le cycle de production dont elle est issue. Le recyclage d'une bouteille en verre en un autre contenant de verre qui sera à son tour recyclé sous la forme d'un autre objet en verre et ainsi de suite. Le compostage, ou des matières organiques, peut également être assimilé à du recyclage.

I-3-2. Procédés de recyclage :

Il existe trois techniques de recyclage : chimique, mécanique, organique.

Il est appelé technique chimique tous les réactions chimiques pour traiter les déchets. Par exemple pour séparer certains composants. La technique mécanique est la transformation des déchets à l'aide d'une machine. Par exemple, pour concasser. La technique organique consiste, après compostage ou fermentation à produire des engrais et du carburant.

I-3-3 .Le recyclage de verre :

Le verre est l'un des matériaux les plus facilement recyclable. En effet, le verre recyclé fond à des températures bien plus basses que la silice et l'ajout de fondants devient superflu. Cependant la production à partir de verre recyclé nécessite au moins 20% de matière première nouvelle .En2013, le taux de recyclage du verre en France atteignait les 74%.

I-3-4.Les étapes du recyclage du verre :

- 1.Triélectif.
- 2.Transport du verre .
- 3.Transformation en calcin.
- 4.Fonte du calcin.
5. Moulage du verre.
- 6.Coloration du verre .
- 7.Réutilisation du verre.

I-3-5.Tri du verre :

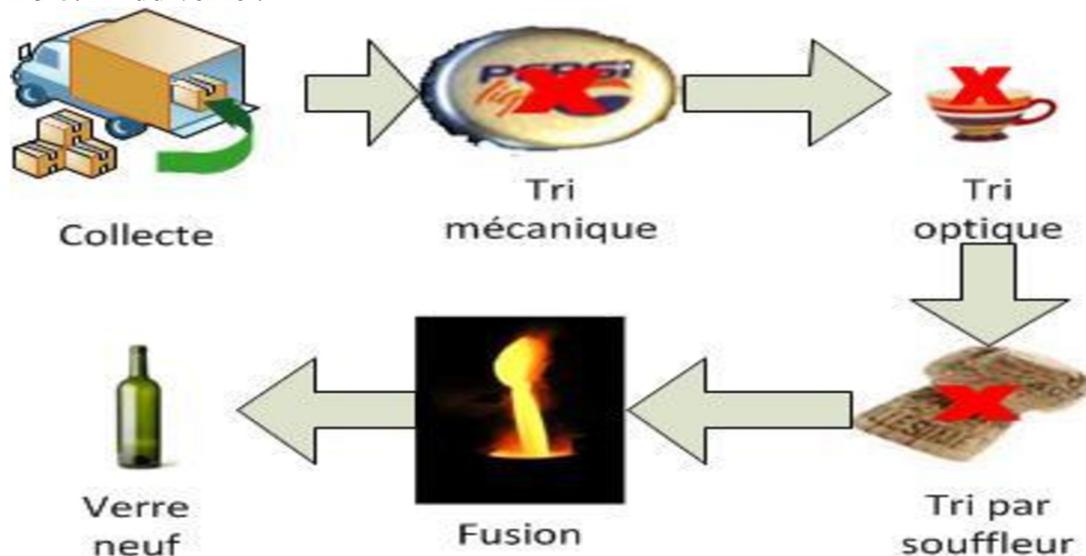


Figure I-3 : Le tri de verre

I-3-5-1.Le tri sélectif :

Le tri des déchets et la collecte sélective sont des actions consistant à séparer et récupérer les déchets selon leur nature, à la source, pour éviter les contacts et les souillures.

1. Histoire du tri :

Il y a plusieurs dizaines d'années, les bouteilles en verre étaient pour la plupart consignées. Le consommateur payait, en complément du prix de son produit, une très faible somme d'argent qui lui était remboursée lorsqu'il rapportait la bouteille vide au magasin.

De nos jours, la consignation est de plus en plus rare, ceci au profit du recyclage des bouteilles dans les fours verriers.

En 1974, les premières bouteilles furent collectées et recyclées en France, après cette initiative des verriers, les premiers conteneurs furent installés et l'histoire du recyclage du verre commença.

En 1988, 33% des bouteilles en verre étaient recyclées en Europe. Ce taux passe à 54% en 1994, puis dépasse les 60% à partir de 2003.

Aujourd'hui dans l'union européenne, le taux du recyclage de verre dépasse les 70%, alors que l'objectif était fixé à 60%

2. Guide du tri de verre d'emballage :

Un bon tri permet le recyclage du verre à l'infini. Chacun d'entre nous est le premier maillon de la boucle de recyclage du verre. La quantité du verre collecté dépend de notre façon de trier.

Seul le verre d'emballage (les bouteilles, les flacons, les pots, les bocaux...) peut être jeté

Le verre d'emballage n'est pas :

- Tous les autres verres : verre culinaire, miroir, vitrocéramique, lampe, écran de télévision, porcelaine, faïence, carrelage, ampoule d'éclairage, cristal...
- Tous les autres déchets : pierres, bois, métaux, plastique, briques, terre cuite, ...

3. Guide du tri de verre plat :

Les industriels trient le verre plat et ne doivent pas le mélanger avec :

- La vitrocéramique
- Le bois
- Les plastiques
- Les cailloux

4. Importance du tri :

Chaque morceau de verre déposé dans le conteneur à verre permet de produire à nouveau une bouteille avec du calcin.

Qu'il s'agisse de recyclage en boucle fermée ou non, dans tous les cas, chacun de nous contribue à :

- Une réduction des matières premières prélevées dans la nature
- Une diminution de l'enfouissement des déchets
- La réduction des rejets CO₂
- Une baisse de la consommation d'énergie utilisée dans la production de verre.

I-3-5-2. Tri mécanique :

Le tri mécanique est relativement récent. L'utilisation de techniques de tri est plus courante dans les grandes installations de récupération du verre. Les trieuses optiques sont généralement efficaces dans le cas de morceaux de verre de 1 à 4 cm. Les trieuses permettent de retirer les morceaux de céramique d'un circuit des verres mixtes ou de trier les verres par couleur.

I-3-5-3 .Tri avec rayons X :

Une machine de tri qui permet de séparer les matières en vrac les plus diverses à l'aide de détecteurs de rayons X. Les matériaux avec des couleurs et des poids similaires peuvent être différenciés au moyen de rayons X grâce à un autre critère. A savoir la densité ou, plus précisément, l'absorption du rayonnement X. il est possible de distinguer sans problème les déchets organiques tels que le bois et le plastique des autres déchets non organiques comme les pierres, le verre ou la céramique.

I-3-5-4.Tri optique de verre :

Le tri par couleur est une nécessité. Il permet d'accroître le taux de recyclage du verre en diversifiant les débouchés d'utilisation possibles. La collecte du verre blanc, par exemple, augmente de 300 000 tonnes le potentiel de recyclage du verre [13].

Une fois épuré des matières indésirables par le tri, le verre passe dans un système qui sépare automatiquement, par analyse chromatique, le verre incolore des autres teintes.

I-3-6.Recyclage du verre en Algérie :

La composition des déchets solides produits en Algérie se caractérise par une part très significative des produits organiques avec un taux moyen de 72%. Quant au plastique, il ne représente que 10% de ces déchets et 9,3% pour le papier /carton, 4,14% pour le chiffon et autres, 3,2% pour les métaux et 1,36% pour le verre [14].La capacité de recyclage de ces déchets est donnée dans le tableau (I-3)

En Algérie, le volume des déchets a doublé entre 1990 et 2007, pour atteindre 60kg par an et par habitant. On peut observer une augmentation des volumes produits des déchets [15].

Tableau I-3 Capacité de recyclage en Algérie [16].

Nature des déchets	Quantité en tonne/an
Papier	385.000
Plastique	130.000
Métaux	100.000
Verre	50.000
Matières diverses	95.000
Total	760.000

I-3-7.Domains de recyclage des déchets de verre :

Le recyclage du verre d'emballage possède de nombreux avantages et celui notamment d'être utilisé à l'infini. Le verre après broyage peut être réutilisé sous plusieurs formes dans secteurs d'activité :

- La construction : il remplace les gravillons qu'on peut trouver dans les parpaings et possède des qualités d'acoustique et de légèreté.
- L'abrasion : les microbilles de verre pour traiter des surfaces sans les endommager ou la poudre de verre afin de préparer des surfaces à travailler, et les billes de verre pour le broyage.
- Les pigments pour la peinture : dans les enduits pour un effet esthétique particulier ou dans la peinture pour la signalisation routière.
- Les matériaux de décoration : dans les roches décoratives pour la mosaïque par exemple.
- Le nettoyage : par la libération de soude et de potasse, ainsi que grâce à ses microparticules, qui possèdent des qualités de détergents [12].

I-3-8. Impact du recyclage dans l'industrie [17]:

A. Source d'approvisionnement alternative :

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.

B. Création d'activités :

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur.

En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières.

C. Mise en conformité avec la loi :

Dans le cas des déchets d'équipements électriques et électroniques, c'est l'intervention du législateur qui a rendu leur collecte et leur valorisation obligatoires au sein de l'Union européenne.

D. Coût de main-d'œuvre :

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient compromettre le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).

La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploie plus de personnes qu'une collecte simple.

La plupart de ces coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité (en France, par exemple, c'est au niveau de la commune ou de la communauté de communes que cela est géré).

Les impôts locaux en tiennent compte, mais d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et une taxe sur les emballages.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté les propriétés physiques du verre ainsi que les techniques de ce matériau. Recyclage compte tenu du coût du tri des déchets de verre, il devient intéressant de valoriser ce matériau dans d'autres domaines tels que les matériaux de construction

CHAPITRE 2:
FABRICATION DE LA
BRIQUE

II-1 .Introduction :

Les briques sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction.

Dans ce chapitre, nous allons exposer les étapes de fabrication des briques.

II-2.Définition :

La brique possède une grande performance technique ainsi qu'une importante résistance au feu, elle est le produit céramique, matériau naturel (argile). La forme de brique est généralement rectangle parallélépipède. Elle est couramment utilisée dans la construction des bâtiments et des travaux publics.

II-3.Historique :

L'histoire de la brique débute par l'usage de la terre crue. En effet, l'homme s'est vite aperçu que, pour obtenir une maçonnerie stable il était plus facile d'utiliser de l'argile moulée en éléments de taille régulière, appelés adobes, que des pierres irrégulièrement taillées.

L'origine de la brique remontait à 7000 ans avant J.C. elle apparut pour la première fois dans la région du Tigre et de l'Euphrate.

La cuisson de l'argile date du néolithique et de l'apparition de la poterie. Toutefois, il faut attendre le quatrième millénaire av. J.-C. pour que la terre cuite fasse son apparition en architecture, notamment au Moyen-Orient et en Mésopotamie, comme en témoigne la ziggourat d'Ur, édifiée vers 2100 av J.C. rapidement, la brique de terre cuite est utilisée pour des ouvrages d'habitation mais aussi pour des palais avec la mise en place de la technique de l'émaillage.

L'introduction de la brique en Europe se fait par les grecs et les romains. Les grecs utilisent la brique de terre cuite mais la masquent avec des matériaux plus nobles comme des parements de marbre. Les romains en revanche, la mettent en avant, notamment dans leurs ouvrages de génie civil, comme les aqueducs. Cependant, avec le déclin de l'empire romain, la brique elle-même disparaît peu à peu, excepté dans le monde byzantin.

C'est au moyen – âge que la brique est réintroduite en Europe. Le matériau connaît un grand succès dans le sud de la France, notamment à Toulouse, qui en tirera son surnom de « ville rose ». On peut expliquer cette localisation par la présence dans la région de nombreux ordres monastiques, dont l'organisation sociale permet le développement d'un processus de fabrication rigoureux.

L'époque moderne marque un tournant dans l'histoire de la brique avec la mise en place d'une production industrielle. C'est la grande époque des briqueteries. Cette industrialisation permet une augmentation de la production et une utilisation dans le logement collectif et en particulier les habitations bon marché (HBM) qui fleurissent tout autour de la capitale de la France, à partir des années 1930 [18].

Après la seconde guerre mondiale, la brique décline au profit du béton. Toutefois, les années 1970 voient la renaissance de ce matériau avec l'émergence de la maison individuelle. Aujourd'hui encore, une maison individuelle sur deux est produite en terre cuite. Il est intéressant de remarquer que les techniques de fabrication ont finalement peu varié à travers l'histoire. Ainsi, si l'on retirait une brique de la ziggourat d'Ur pour la remplacer par une brique actuelle, on constaterait très peu de différences de qualité et de résistance [18].



Figure II-1 : Porte d'Ishtar, musée de Pergame, Berlin

II-4. Classification des briques:

On peut les classer selon le critère de la porosité :

- Les produits poreux (se laissent rayer par l'acier) et notamment les terres cuites (brique, tuiles, bardeaux,...etc.), les produits réfractaires (briques) et la faïence.
- Les produits non-poreux (vitrifiés) comme les grés cérames (carreaux, tuyaux), les porcelaines et briques spéciales pour pavage.

La matière première est l'argile essentiellement kaolinitique plus ou moins pur provenant du feldspath orthose (aluminosilicate naturel) décomposé.

II-5. Type des briques :

II-5-1. Brique ordinaire :

Une brique d'argile est une roche artificielle ayant le forme parallélépipédique rectangle de dimensions bien déterminées. Généralement, on fabrique les briques suivant deux procédés :

procédé plastique (l'argile est humectée d'eau de 20 à 25%) et procédé demi - sec (l'argile est humectée d'eau de 8 à 12%).

Après moulage et séchage, les briques sont cuites pour qu'elles deviennent assez dures. La cuisson est faite soit dans le four périodique soit dans le four continu.

En général, les dimensions d'une brique ordinaire sont : 250x120x5mm. Selon la technologie de fabrication des briques traditionnelles, il est difficile d'obtenir des briques ayant des dimensions exactement précises, à cause du retrait à l'air et retrait de cuisson. Selon la Norme, les tolérances sur les briques peuvent être calibrées de la manière suivante : ± 6 mm sur la longueur : ± 4 mm sur la largeur et ± 3 mm sur l'épaisseur [19].

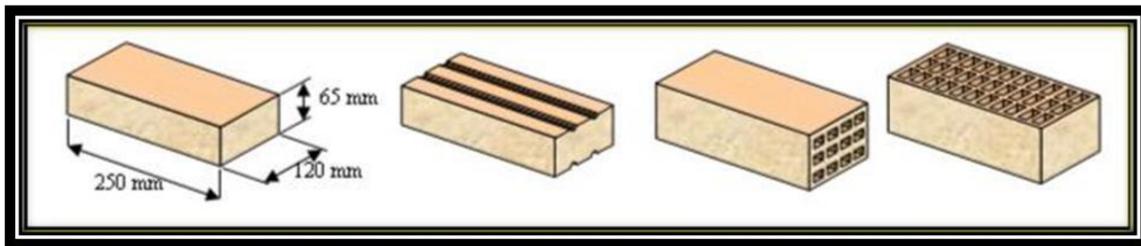


Figure II-2 : Briques pleines et perforées [19]

II-5-2. Brique poreuses :

Les briques poreuses peuvent être fabriquées par la technologie traditionnelle en utilisant les argiles ordinaires, auxquelles on ajoute des additions fusibles (sciure de bois, tourbe pulvérisée, charbon pulvérisé).

L'emploi des briques poreuses permet de réduire les dépenses de transport et donc le prix des murs. Cependant la résistance d'une brique poreuse étant faible, ce type de briques ne peut pas être utilisé pour construire des murs supportant de fortes charges. Elles seront plutôt employées pour le remplissage des bâtiments à ossature métallique ou béton armé [19].

II-5-3. Briques d'argiles creuses à perforations :

Les briques creuses qui comportent au moins quatre conduits, elles doivent avoir les dimensions suivantes : 250x120x88 ou bien 65.

On fabrique les briques à 8 et 18 conduits dont les diamètres sont de 35-45 mm et de 17-18 mm. Les trous de la perforation sont faits soit verticalement dans la proportion de 60% de la section totale, soit horizontalement avec alvéoles parallèles au lit de pose dans la proportion de 40% de la section totale (fig. II-3). On classe les briques creuses en quatre marques : 150, 125, 100 et 75. La capacité d'absorption d'eau d'une brique creuse a la même valeur que pour la brique ordinaire donc $>8\%$. La résistance à la flexion est de 20, 18, 16 et 14 kg/cm^2 . Toutes les autres

prescriptions techniques imposées aux briques creuses sont les mêmes que pour les briques ordinaires [19].

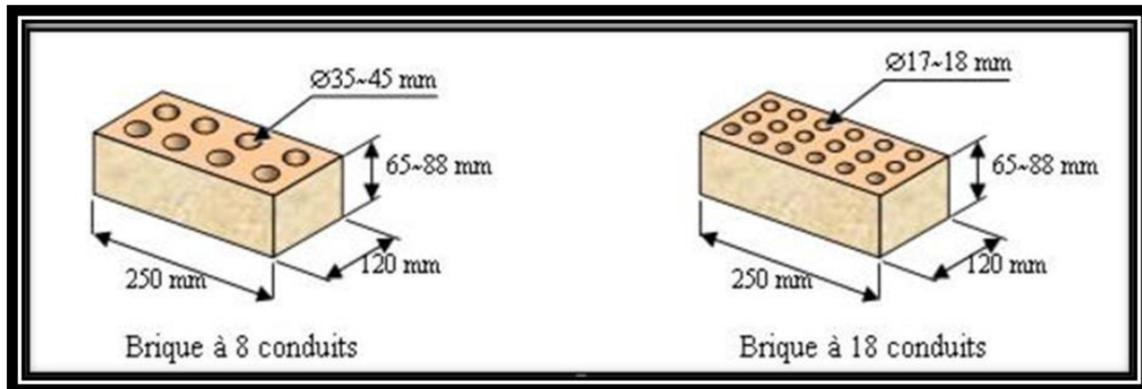


Figure II-3 : Briques creuses comprimées par voie demi-humide [19]

II-5-4. La brique de verre

La brique de verre séduit par son originalité et sa personnalisation. Disponible en de multiples dimensions et formes, la brique de verre s'impose dans toutes les pièces de la maison sous forme de cloisons.

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



Figure II.4 : Brique de verre

II-6. Les caractéristiques de la brique :

- ✓ Poids léger
- ✓ Isolation thermique (le verre se caractérise par une grande capacité d'isolation thermique).
- ✓ Isolation acoustique (caractérisée par un haut niveau d'isolation acoustique car il a des vides d'air)
- ✓ Résistance à la pression
- ✓ Résistance aux tremblements de terre (en raison de son poids léger, résistance à la pression).
- ✓ Résistance au feu
- ✓ Durabilité
- ✓ Un produit respectueux de l'environnement :

Car il ne produit pas de polluants pour l'environnement ou de matières dangereuses tout en maintenant un développement durable en utilisant des déchets de verre.

Remarque : la couleur de brique compte sur le type d'argile (rouge à la cuisson comme stage, et les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose, jaune ou blanc).

II-7. Les composants de brique rouge :

Elle composant des matières dégraissantes et matière graissant, se compose de :

II.7.1 Matières premières dans l'industrie des briques :

a) Les argiles :

Sont des roches naturelles, et des sols très sensibles à l'eau. D'un diamètre inférieure à $2\mu\text{m}$, on appelle matière graissant dans la fabrication de brique.

Les argiles peuvent être définies comme un mélange :

- ✓ De minéraux argileux en général la kaolinite ($\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$).
- ✓ De micas, en général la muscovite ($\text{K}_2\text{O}, 3\text{Al}_2\text{O}_3, 6\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$).
- ✓ De quartz (SiO_2).
- ✓ De minéraux associés contenant du fer, du titane, du magnésium.

i. Origine d'argile :

La décomposition des roches primaires (éruptives) tel que granite, causé par action chimique (oxydation, carbonations...), action physique (variation de température, l'action d'eau, de gel, érosion) [20].

ii. Les caractéristiques de l'argile :

- Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage.
- limite d'Atterberg.

- Analyse granulométrique des sols méthode de sédimentation (SD).
- Bleu de méthylène.

b) Matières dégraissantes :

On appelle dégraissants, l'ensemble des matériaux non plastique ajoutés à l'argile pour la rendre moins grasse ou inclus naturellement dans celle-ci.

i. Fonction de la matière dégraissante :

- ✓ Diminue l'excès de plasticité.
- ✓ Aère la pâte.
- ✓ Facilite le départ de l'eau de plasticité au séchage.
- ✓ Facilite le départ de l'eau de constitution à la cuisson, ce qui évite les déformations.
- ✓ Supporte le choc thermique de la cuisson d'un usage culinaire, par exemple : le dégraissant fait office d'ossature, et facilite le façonnage de pièce, le dégraissant améliore aussi les conditions de séchage de l'argile, que sans lui aurait tendance à se fendre suite à l'importance de retrait.

ii. La chamotte :

Les chamottes d'argiles sont obtenues par cuisson d'argiles à haute température. En chauffant une argile, il se produit des réactions chimiques irréversibles donnant la formation de la cristobalite qui est influencée par la présence d'impuretés : en effet, à partir de 1300-1400°C, sa teneur diminue rapidement à cause de son incorporation dans le verre. Si l'argile de départ est riche en alcalins, la cristobalite sera présente seulement en petite quantité.

iii. Sable :

Le sable est une roche sédimentaire meuble, de granulométrie de 0,2 à 1mm, elle est généralement constituée de silice quartzueuse. Il y a deux origine de sable naturelle et artificielle ; il est appelé dégraissant dans la fabrication de brique.

II-8. Procédé de fabrication de la brique :

II.8.1-Extraction :

La matière première naturelle de la brique de terre cuite est l'argile. Il faut entendre 'argile' au sens large et considère également les terres limoneuses et schisteuses, matières premières de même composition minéralogique que l'argile.

L'argile est extraite dans des argilières en zone d'extraction. L'argile est omniprésente dans le sous-sol et ses propriétés diffèrent en fonction de l'origine géologique.

Une briqueterie jouxte généralement une argillère. Certaines briqueteries ajoutent des argiles en provenance d'autres argilières afin d'étoffer la gamme de produits. Le transport reste toute fois limité. Il faut savoir que chaque produit de terre cuite nécessite une matière première appropriée : les blocs treillis sont produits principalement à partir d'argiles grasses extraites et utilisées dans

la région du Rupel, le Waas land, la campine et la région de Courtrai. Les briques de parement moulées main et étirées sont fabriquées à partir de divers argiles et limons.

II.8.2 -Préparation de l'argile :

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

Ces opérations ont pour but de rendre la masse d'argile homogène et de lui conférer la plasticité nécessaire au moulage des briques. Cette opération a également pour but de réduire les inclusions solides éventuellement présentes dans l'argile (ex : nodules de pyrite et inclusions de chaux) pouvant influencer négativement la structure du produit en terre cuite. Cette étape très importante s'effectue dans des broyeurs mécaniques à meules verticales ou à cylindres horizontaux. Le broyeur mécanique à meules verticales est très utilisé ; il s'agit d'un appareil en forme de cuve dans lequel tournent deux meules qui pressent l'argile au travers d'un fond perforé formant tamis.

Dans le broyeur horizontal, l'argile est laminée entre deux cylindres Si l'on utilise du schiste - qui n'est rien d'autre qu'une argile pétrifiée - comme adjuvant, il faut le concasser et le moudre par étapes successives en une fine poudre qui sera gâchée à l'eau pour obtenir une pâte (argileuse) présentant la plasticité souhaitée.

Enfin, l'argile contient également des débris organiques nuisibles à la qualité du produit fini, et qui ne peuvent être éliminés que par l'action bactériologique. A cette fin, l'argile est stockée quelque temps dans un lieu humide et sombre propice au développement de ces bactéries.

Généralement, on ne fabrique pas les briques uniquement à partir des argiles locales, comme c'était le cas auparavant. Pour obtenir une qualité optimale de la matière première, divers types d'argile sont mélangés, toujours sous un contrôle permanent. On peut ainsi garantir la qualité constante des produits en terre cuite. Les adjuvants peuvent influencer les propriétés des produits finis. Ainsi, l'ajout de pigments peut en modifier la couleur ; l'ajout de sciure de bois a une influence sur la porosité, ...

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

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

II.8.3- Façonnage :

On distingue divers types de briques, en fonction de la manière dont elles sont mises en forme :

i. Briques moulées main :

La méthode de moulage la plus ancienne est le façonnage à la main des briques. Le mouleur prend une certaine quantité d'argile, la jette dans un moule en bois préalablement sablé pour éviter que la pâte n'adhère aux parois, presse convenablement la terre pour remplir le moule, arase l'excédent et retourne l'appareil pour démouler la brique crue ou «verte» (= brique non cuite).

Pour faciliter cette opération, l'argile doit être relativement ductile (et humide par conséquent), évitant ainsi au mouleur de devoir exercer un effort trop important. Ceci a pour conséquence que la brique «moulée main» présente une surface irrégulière, caractérisée par des plissures.

Dans l'industrie briqueterie moderne, hautement mécanisée, les briques « moulées main» ne le sont toutefois plus par la main de l'homme. Toutes les opérations sont restées identiques, mais ce sont des machines qui ont pris la relève. Après avoir servi au façonnage, les moules sont nettoyés à l'eau et réutilisés. L'eau est réutilisée en circuit fermé. L'excès d'argile arasé lors du moulage est quant à lui, réintroduit dans la matière première.

Le sablage des moules avec du sable ou de la sciure est aujourd'hui aussi entièrement mécanisé. Si l'on remplace ce sablage des moules par un rinçage à l'eau, on obtient une brique non sablée qui a la couleur pure de la terre cuite. La partie inférieure du moule comporte généralement un renflement qu'on retrouve dans la brique de terre cuite comme un évidement.

Il arrive encore qu'une brique soit réellement moulée à la main mais seulement pour certains formats particuliers non compatibles avec la machine ou en cas d'utilisation d'argiles spéciales.

ii. Briques pressées :

Les briques moulées à la presse forment une catégorie à part. On introduit dans les moules de l'argile relativement sèche que l'on comprime vigoureusement pour lui donner la cohésion voulue.

Ces produits présentent une surface grenue et une forme géométrique bien marquée.

iii. Briques étirées :

Les briques pour maçonnerie ordinaire sont presque exclusivement fabriquées par extrusion. Dans cette machine, la masse d'argile est extrudée sous forme d'une carotte continue à section rectangulaire. Ce «boudin» d'argile est alors coupé à intervalles réguliers. Chaque élément forme une brique qui présente quatre faces assez lisses suite au coulissement dans la filière, et deux faces de sectionnement plus grossières.

L'étireuse permet une production beaucoup plus rapide que n'importe quel autre procédé, et de plus, elle est parfaitement adaptée au façonnage de briques perforées. Ce mode de fabrication est également utilisé pour produire des briques de parement, mais dans ce cas, l'aspect des faces (deux boutisses et une panneresse en général) sera plus soigné.

II.8.4- Séchage :

Avant d'être cuites, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau - du moins en est-il ainsi pour la plupart des argiles. Le séchage se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Le risque serait en effet de les voir se fendre ou éclater sous la dilatation de la vapeur dans la masse. D'autre part, la stabilité dimensionnelle du produit n'est obtenue qu'au terme du retrait consécutif à la dessiccation.

Le séchage s'opère dans des chambres ou des tunnels où il se poursuit de manière régulière et rapide (généralement de 2 à 4 jours). On utilise l'air chaud de la zone de refroidissement du four pour le séchage des briques. La température et le taux d'humidité sont contrôlés tout au long du processus de séchage, au moyen d'un système informatique réglé de façon très précise

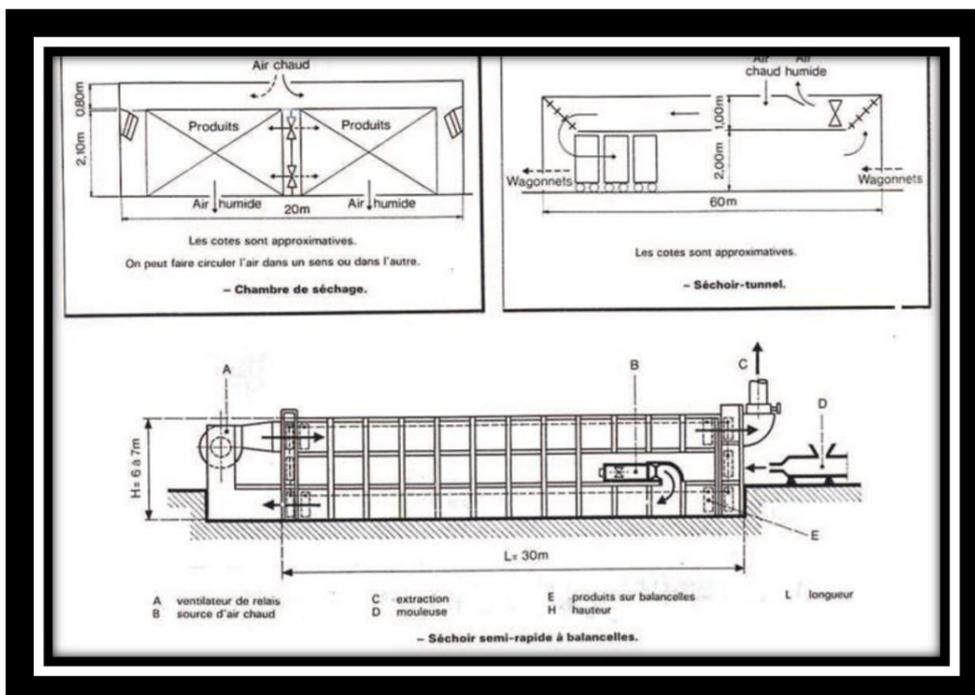


Figure II-5: vue d'un chambre de séchage [21]

II .8.5- Cuisson :

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

On peut modifier l'atmosphère du four. La cuisson en oxydation (= avec apport d'oxygène) est la plus fréquente et produit la teinte «normale» qui est, généralement, le rouge puisque l'argile est généralement ferrugineuse. Dans une atmosphère réductrice (=sans apport d'oxygène), on obtient des couleurs plus foncées. Une réduction partielle produit, quant à elle, des teintes fortement nuancées.

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

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

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

Dans la zone de préchauffage, les briques sont portées progressivement à température. Cet échauffement se fait grâce aux fumées émanant de la zone de cuisson du four. L'humidité résiduelle des briques est ainsi éliminée.

A partir d'une température comprise entre 450°C et 600°C, on ralentit la montée en température des briques. C'est autour de cette température que se produit le «point de quartz» : il s'agit de la température à laquelle la structure cristalline du quartz est modifiée. A cette étape de la cuisson, les briques sont très sensibles à la formation de fissures.

La cuisson des briques à proprement parler se fait environ à mi-parcours du four, à une température allant de 1000°C à 1200°C. Le frittage de l'argile se fait à cette température et se forme alors la structure définitive de la brique.

Enfin, une troisième et dernière phase consiste à refroidir les briques. Cette opération doit s'effectuer de façon très contrôlée pour éviter tout risque de fissuration.

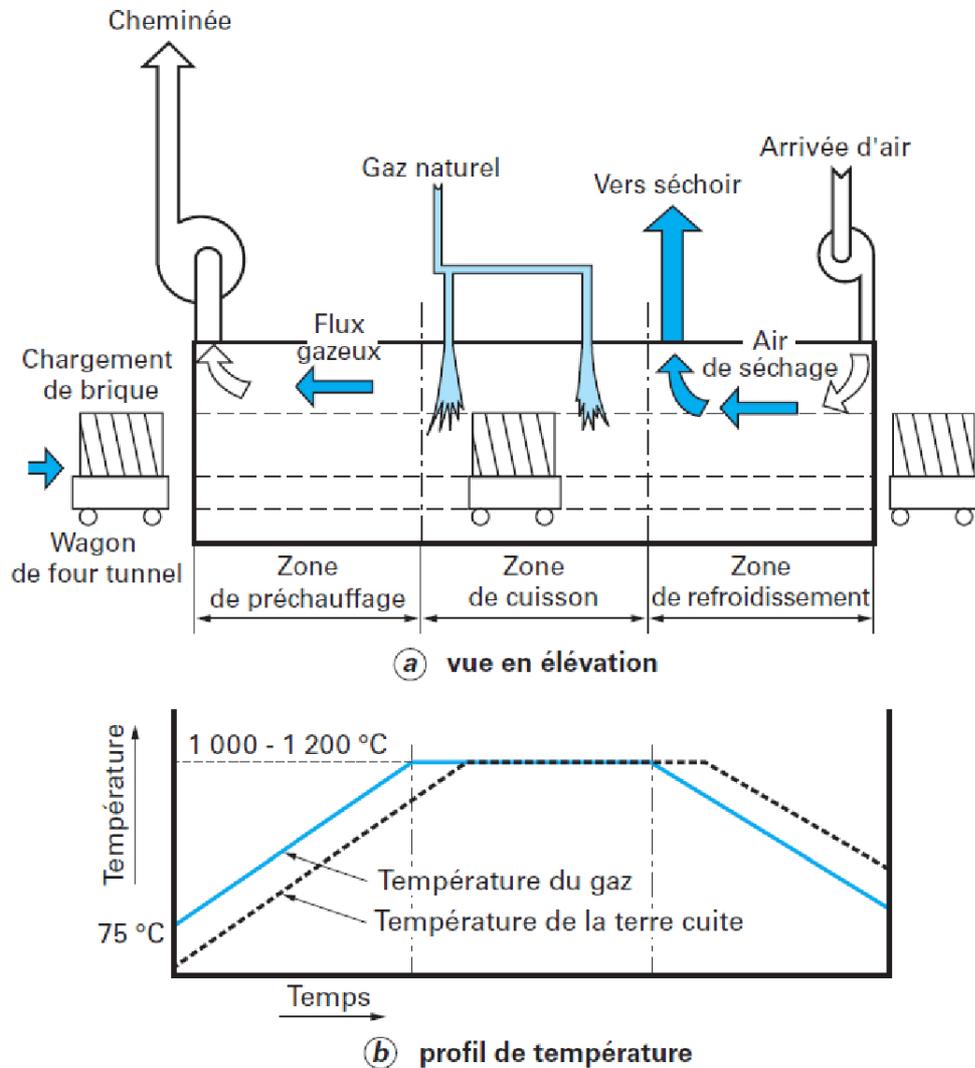


Figure II- 6 : vue d'un four tunnel et profil de température [21]

II-9. Les essais sur la brique :

Après l'opération de cuisson les techniciens font le test de résistance à la compression pour mesurer la dureté de la brique et pour vérifier que le produit respecte les exigences



Figure II- 7:l'appareil de la résistance a compression

II-10. Respect de l'environnement :

Comme la plupart des processus, la production de briques a un impact sur l'environnement. Le secteur céramique y accorde beaucoup d'attention et met tout en œuvre pour minimiser les émissions dans l'air, l'eau et le sol. La consommation énergétique est aussi un point d'attention Continu.

Economie de matières premières : la gestion de la matière première qu'est l'argile est planifiée à court, moyen et long terme. Nous accordons beaucoup de valeur à la gestion parcimonieuse des matières premières. Lorsque c'est possible, des accords de partenariats sont conclus pour stimuler l'apport extérieur d'argile. Ainsi, de temps à autre, on ajoute au mélange de matières premières, de l'argile provenant des travaux d'infrastructure.

L'eau est utilisée pour rendre le mélange d'argile plastique mais est également ajoutée lors du moulage. Lors du façonnage, mélange argileux. Ensuite, ils sont rincés à l'eau et réutilisés. L'eau de rinçage est réutilisée en circuit fermé. Cette manière de travailler permet de limiter la consommation d'eau et d'éviter toute forme de rejet d'eau.

La production de briques occasionne d'inévitables émissions. Le secteur mène de nombreuses initiatives pour les minimiser. Pour atteindre cet objectif, des mesures intégrées au procès et des techniques de traitement de fumées jouent un rôle complémentaire.

Economie d'énergie : depuis des dizaines d'années, des mesures d'économie d'énergie sont mises en œuvre : fours tunnel performants alimentés au gaz naturel, suivi détaillé du processus

de cuisson, récupération maximale de la chaleur des fours pour l'utiliser dans les chambres de séchage.

La brique est un produit «local», fabriqué à partir de matières premières issues de notre propre sous-sol. Par ailleurs, on trouve toujours une briqueterie à une distance limitée d'un chantier. Ainsi, on limite le transport tant des matières premières que des produits finis.

Conclusion:

Dans ce chapitre, on a présenté le procédé industriel utilisé dans la fabrication de la brique ainsi que les caractéristiques des matières premières rentrant dans sa composition.

L'aspect environnement a été également abordé du fait que la brique répond bien à cette problématique. En plus, le matériau verre peut rentrer dans la composition de la brique et de ce fait renforcer la stratégie du développement durable

CHAPITRE 3 :
PROCÉDÉ INDUSTRIEL
UTILISÉ DANS
LES BRIQUETERIES

III-1 Introduction :

Les briques rouges sont les matériaux de construction les plus utilisés en Algérie, et ce malgré l'existence et le développement de produits concurrents (parpaings, plaques de plâtre, panneaux en bois pierres, etc...) ; en raison de :

- La qualité de produits.
- Le prix concurrentiel.

Dans ce chapitre, on présente la briqueterie MEDRISSA dans le cadre d'un stage que nous avons effectué durant la période allant du 15/02/2020 au 01/03/2020. Le stage a pour but de découvrir l'usine de briqueterie ainsi que le procédé industriel utilisé dans la fabrication de la brique rouge.

III-2. Présentation de la briqueterie :

III-2-1. Situation géographique de l'usine :

a). Situation géographique :

L'usine que nous avons visité est située dans la commune de Medrissa, à 60 kms du chef lieu de Tiaret.



Figure III-1: Situation géographique du gisement

III-2-2. L'organigramme de la briqueterie :

La structure de la briqueterie de Mederissa de Tiaret est étudiée de façon à avoir une coordination complète entre les différentes parties de l'usine. Elle est conçue dans un endroit proche de la carrière d'argile afin de permettre une utilisation optimale des ressources, car il s'agit d'une unité de production continue, ce qui signifie qu'il y a un suivi constant par un certain deux équipes

L'usine comporte plusieurs départements :

- ✚ Bureau technique
- ✚ Bureau commercial
- ✚ Bureau fabrication
- ✚ Bureau administration.

L'usine comporte plusieurs ingénieurs, des techniciens, et personnel qualifié pour l'utilisation des modernes équipements informatiques.

L'usine fonctionne grâce à deux équipes d'un système d'alternance.

L'usine est dirigée par les gestionnaires ci-dessous :

- Gérant
- Directeur du bureau technique
- Directeur administratif et financier
- Directeur de bureau de méthodes
- Chef carrière

Les principaux produits de cette usine sont :

- Briques creuses de 12trous :

Masse = Kg/pièce – 150*200*300 mm.

- Briques creuses de 8trous :

Masse = Kg/pièce – 100*200*300 mm.



Figure III-2:les produits finis de la briqueterie (12T et 8T)

III-3. Processus de la production :

Le principe de la fabrication de brique est :

- ✓ Extraction des matières premières (argile principalement).
- ✓ La préparation (broyer l'argile ; ôter les impuretés).
- ✓ Le façonnage (étrirage ; pressage ; mouler).
- ✓ Le séchage (élimination de l'eau : tunnels, soleil).
- ✓ La cuisson (840 à 1200°C).

La production de la brique se base sur une série d'opération, comme la montre la figure :

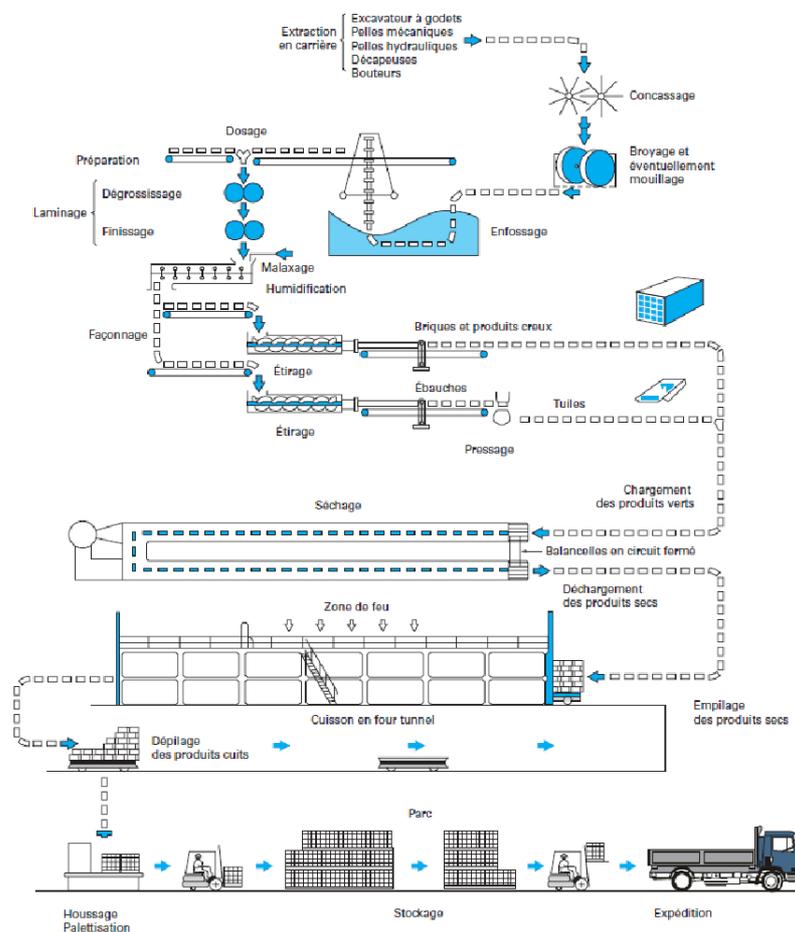


Figure III- 3:Schéma de production de la brique [23]

III-4. Préparation d'argile

a). Concassage :

C'est la première phase de transformation de la matière première (l'argile). Cette dernière est reprise par un alimentateur à tabliers sous une trémie spéciale pour être concassée avec un concasseur à mâchoire on obtient une granulométrie très fine.

b). Extraction :

La briqueterie de la MEDRISSA dispose d'une seule carrière à ciel ouvert (Figure III.4). Dans cette carrière, l'extraction est réalisée à partir des gradins successifs. Cette matière première est chargée par un chargeur sur des camions qui la transportent à un concasseur (l'extraction est mécanique)



Figure III-4 : Vue de la carrière d'argile

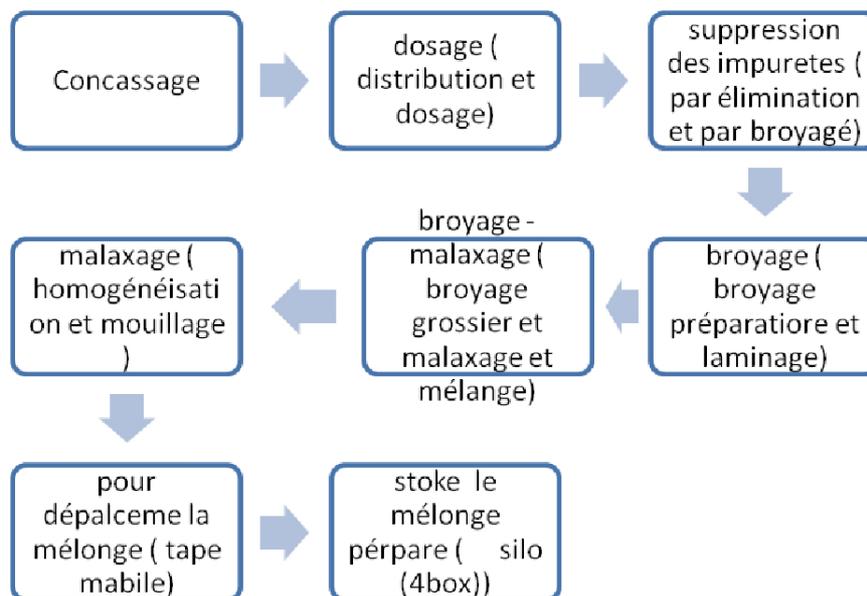
c). Stockage des Matériaux:

Au niveau de l'usine, la matière première (l'argile) est placée dans un endroit appelée arrivée de terre, en remuant le sol afin d'en libérer les gaz pendant une période de 6 à 12 mois. Le sable est extrait à partir d'une autre carrière avant d'être stocké à côté de l'argile



Figure III-5 : Photomontage mélange (sable + argile)

d). L'organigramme pour préparation de l'argile dans l'usine:



Remarque :

On récupère le mélange dans une Brise-motte (diamètre 40 mm). Les matériaux sont acheminés vers le doseur.

Le mélange est composé d'argile + sable. La quantité de sable dans le mélange est de 27%, alors que la norme stipule une proportion de 18%.



Figure III-6 : Stockage des mélanges

On diminue les granulométries par des machines (dégraisseur 5-20mm et cylindre serif finisseur 2mm).

Un aimant est placé au dessus de la bande transporteuse pour éliminer les déchets métalliques qui peuvent endommager les machines.

Le Mouillage consiste à malaxer les deux matériaux et pulvériser l'eau pour avoir une pâte très plastique (la quantité d'eau est 25%).

Le transport des matériaux d'un poste à un autre est assuré par une bande transporteuse appelée Tapis navette (mobile).



Figure III- 7 : Tapis mobile

Le Silo (box) a pour objet le stockage du mélange préparé.



Figure III-8 : Structure de box

Le but de la préparation de l'argile (broyage, malaxage, dosage, mélange) est d'obtenir une masse argileuse bien homogène et plastique qui sera facilement transformée en produit fini.

III-5. Fabrication de la brique :

a). Façonnage :

Le façonnage est une étape qui consiste à donner à la pâte la forme désirée du produit (par « une filière »).il comporte deux principes fondamentaux :

Une pâte plastique, c'est-à-dire une brique moins fragile et moins fissurée. La pâte est placée dans une chambre à vide (dépression de 1 bar), pour absorber l'air et les gaz.

Principe de la mouleuse : la pâte sortie de la chambre à vide sous une pression de 20 à 24 bars passe par une filière. Cette dernière donne des boudins de pâte. Les boudins (par exemple : de 12 trous, 8trous) sortent en forme primaire régulière. A la fin, les boudins sont découpés transversalement avec un fil deux fois parallèle.

- ❖ La 1^{ère}, par le pré-coupeur : pour éliminer et limiter les boudins. Les morceaux qui restent vont recyclés (transférés vers le mouilleur-malaxeur à cribleur).
- ❖ La 2^{ème}, par le multi- coupeur : pour couper les boudins en pièces égales (les briques).

Remarque :

Avant le séchoir intervient un premier contrôle visuel et un tri manuel des briques non-conformes.

b). Séchage :

En sortant de l'étireuse, le mélange encore mou et cru, avant d'être cuit, et parce que les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau (humidité), on passe par un séchoir. Cette opération vise à faire évaporer l'humidité présente dans le mélange avec duquel la brique est formée, stabiliser définitivement la configuration géométrique des produits, donner à ces derniers la résistance mécanique nécessaire pour pouvoir être empilés sur **des Wagons** à l'aide d'une **Empileuse** et successivement acheminés à la cuisson. Il se poursuit jusqu'à ce que les briques ne contiennent plus qu'environ 2% d'eau. Les réglages thermo-hygrométriques sont réglés par une courbe de séchage établie sur la base des caractéristiques chimiques et physiques de la brique à sécher et des volumes de la production (la cadence). La température et le taux d'humidité sont contrôlés tout au long du processus de séchage, au moyen d'un système informatique réglé de façon très précise.

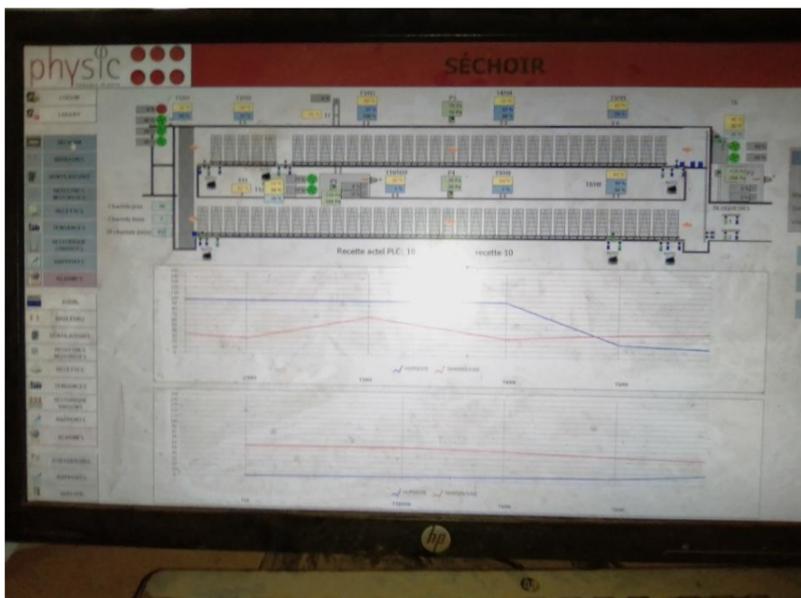


Figure III-9:programmedeséchage

Remarque :

On utilise l'air chaud ambiant du four et des brûleurs du séchoir pour le séchage des briques.

c). Cuisson :

Les produits secs sont transportés sur des wagons vers le four tunnel. Ce dernier est un tube rectiligne où les produits secs traversent trois zones constituant ce four :

- ❖ Préchauffage : lorsque les produits sont introduit dans le préchauffeur, aux environs de 450 °C. Cet échauffement se fait grâce aux fumées émanant de la zone de cuisson du four, l'humidité résiduelle des briques est ainsi éliminée.
- ❖ Cuissons : la température augmente jusqu'à 840°C à cause de sept brûleurs installés à chaque côté du tunnel. A cette étape de la cuisson, les briques sont très sensibles à la formation de fissures.
- ❖ Refroidissement : la brique sortant du four, subit un refroidissement lent, la température est diminuée à 100°C graduellement pour éviter tout risque de fissuration et éclatement des briques.



Figure III-10 : vue d'en haut / sortie de four de cuisson



Figure III-11 : Vue latéral du four de cuisson

Les wagons sont trainés par des dispositifs de remorquage mécanique.



Figure III-12 : les systèmes de remorquage

d). Contrôles des produits :

Dans cette étape les ingénieurs font des contrôles de produit :

- ❖ L'humidité : en mesurer par un hydromètre.
- ❖ Dimensions de brique sèche et humide et cuite, le retrait, la masse.
- ❖ Les défauts et les problèmes de cuisson et séchage.
- ❖ Vérification de bon fonctionnement des capteurs de température et de pression.
- ❖ Vérification des flammes de tous les brûleurs (rapport air/gaz).
- ❖ Vérification de bon suivi des consignes de température dans le système de supervision.

e). Emballage :

A la sortie de four, les briques sont déchargées des wagons ; pendant cette phase, les briques sont ficelées en paquets au moyen d'un feillard de polyéthylène en plastique tendu par une machine appelée Cercluse à feillard automatique (chaque paquet se compose de rangés).

Remarque : après l'étape d'emballage sortent les briques (paquet) dans le parc de stockage d'usine pour distribution.

Figure III- 13 : Le produit final destiné à la commercialisation

La production de l'usine pendant 24h est de 2000 pièces.



Figure III-14 : distribution

III-6. Les points négatifs dans l'usine :

- ✓ Le produit n'est pas contrôlé selon les Normes (ISO 90001).
- ✓ Manque de bureau de contrôle de la résistance de la brique après la cuisson.

Conclusion :

Le stage nous a permis d'étudier les types de brique existants dans le domaine de construction (brique rouge à 8trous et à 12trous). Nous avons acquis plusieurs informations sur l'industrie de fabrication de la brique, comme suit :

- ❖ L'utilisation de plusieurs types d'argile après leur identification, car cela contribue grandement à déterminer la couleur et la qualité du produit.
- ❖ Accès aux différents appareils de l'entreprise.
- ❖ Connaître le travail de laboratoire représenté dans le contrôle qualité.

C'est ce qui fait dire que la qualité et la sécurité sont l'objectif de l'entreprise pour satisfaire un client. C'est ce qui rend le travail de laboratoire nécessaire dans les entreprises de fabrication des matériaux des constructions.

PARTIE ÉXPÉRIMENTALE :

***CHAPITRE 1 : ESSAIS
UTILISÉS POUR LA
SÉLECTION DES
MATÉRIAUX ET LA
RÉSISTANCE DE LA BRIQUE***

I-1. Introduction :

Ce chapitre présente les différents essais réalisés au niveau du laboratoire des travaux publics de l'ouest (LTPO) pour l'identification des matières premières de la brique (argile et matière dégraissant (sable/déchet de verre)), ainsi que les essais réalisés sur les éprouvettes de brique (essais de résistance mécanique et DRX).

I-2. Identifications des matériaux :**I-2-1. Les essais sur l'argile :****A). Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

Pour la réalisation de cet essai, on a utilisé une balance électronique, une étuve et une série de tamis de 5 mm à 0.08 mm (5 ; 4 ; 2 ; 1 ; 0.5 ; 0.4 ; 0.315 ; 0.2 ; 0.1 ; 0.08).

Le déroulement de l'essai s'est effectué suivant les étapes suivantes :

- ✓ sécher d'abord les granulats prélevés de manière progressive et à température d'environ 105°C ;
- ✓ emboîter les tamis utilisés les uns sur les autres, les dimensions croissant de bas en haut. Mettre au-dessous un récipient à fond plein pour recueillir les éléments fins, et au-dessus un couvercle pour éviter la dispersion des poussières ;
- ✓ La charge placée sur les tamis ;
- ✓ Verser le granulat sur le tamis supérieur, mettre le couvercle, et appliquer à l'ensemble une série de secousses, le granulat sera ainsi réparti sur les différents tamis ;
- ✓ Prendre le tamis supérieur seul avec, avec son contenu. au-dessus d'un plateau propre agiter ce tamis ;
- ✓ Prendre le tamis supérieur seul avec son contenu. au-dessus d'un plateau propre ;
- ✓ Le refus est pesé à 0.1% près, et le tamisât versé sur le tamis suivant, avec ce qui s'y trouve déjà ;
- ✓ De même avec le 2^{ème} tamis, et le nouveau refus est placé sur la balance avec le premier ; le nouveau tamisât est versé sur le 3^{ème} tamis. On pèse donc les refus cumulés.
- ✓ De même jusqu'au dernier tamis. Le dernier tamisât (récipient à fond plein) est ajouté sur la balance aux refus précédents. On doit retrouver le poids pesé au départ, aux pertes près.

Le tableau suivant résume le résultat trouvé pour l'argile :

Tableau I-1 : Résultat de l'essai d'analyse granulométrique de l'argile

TAMIS (mm)	Masse des refus cumulés Ri (gr)	% refus cumulés Ri / Ms * 100	% Tamisât cumulés (100 * (Ri / Ms)) - 100

5	5	1	99
4	12	2	98
2	48	10	90
1	90	18	82
0.5	1.31	26	74
0.4	1.44	29	71
0.315	1.58	32	68
0.2	1.93	29	61
0.1	2.10	42	58
0.08	2.16	43	57

Calcul de la masse sèche :

$$M_S = M_h / (1+W)(I-1)$$

M_S : la masse sèche

W : la teneur en eau

M_h : la masse humide

Pesage des refus cumulés :

$$R_1, (R_1+R_2), \dots$$

R_i : refus cumulés

Calcul du pourcentage des refus (%) :

$$PR_i = R_i / M_S(I-2)$$

PR_i : pourcentage des refus

Calcul du pourcentage des tamis (%) :

$$T_i = 1 - PR_i(I-3)$$

Remarque : les refus ont été séchés à l'étuve à une température de 105°C pendant 24h. Pour l'essai de SD.

B). Essai d'Analyse granulométrique des sols méthode de sédimentation NF P 94-057:

L'analyse granulométrique par sédimentation est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage d'un sol et qui peut être nécessaire à sa description et à sa classification. L'essai complète la courbe granulométrique des diamètres inférieurs à 0.08mm. La figure suivante montre le matériel utilisé.



Figure I- 1: essai de sédimentation

Le tableau suivant résume le résultat trouvé pour l'argile :

Tableau I-2: Résultat de l'essai de SD pour l'argile

Temps de lecture	R lecture densimètre	T (°C)	Ct	P(%) sur tamis 80µm
30s	23	23	1.1	57
1min	22	23	1.1	55
2min	20	23	1.1	50
5min	19	23	1.1	48
10min	17	23	1.1	44
20min	16	23	1.1	42
40min	14	23	1.1	37
80min	13	23	1.1	35
4h	11	23	1.1	31
24h	9	23	1.1	25

C).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 constituent un indice important en géotechnique. Ces limites sont mesurées avec un appareillage normalisé, c'est-à-dire la fraction de sol qui passe au tamis de 400 µm.

Il est défini deux 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

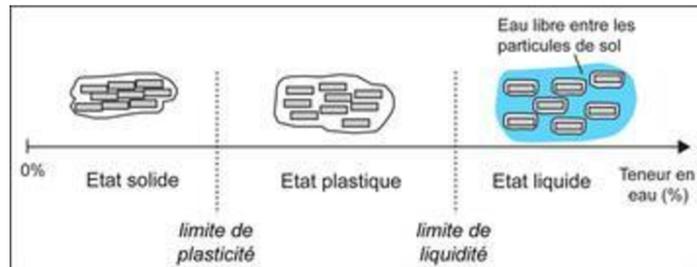


Figure I-2: Etat du sol en de la teneur en eau

i). 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.

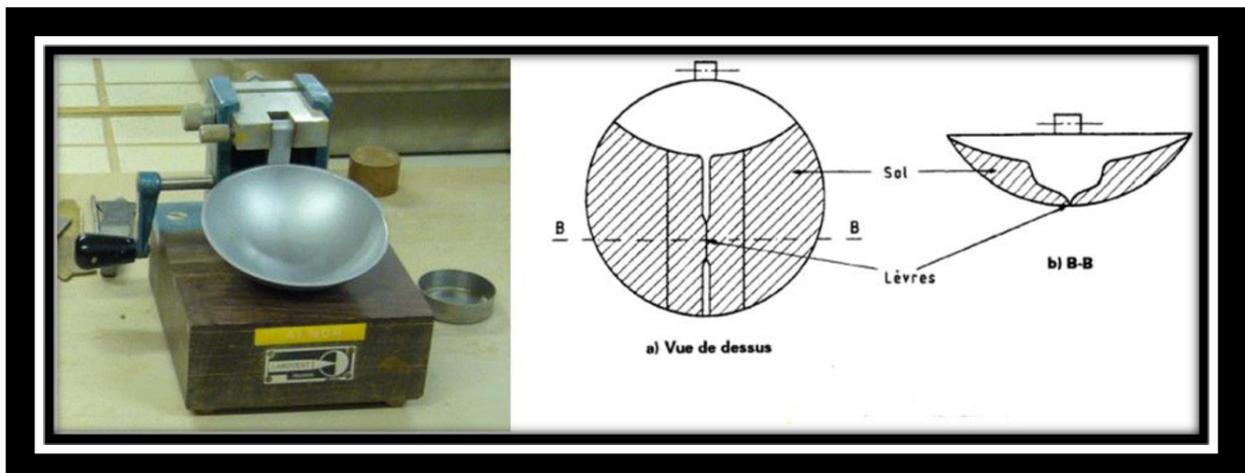


Figure I-3 : Appareil de Casagrande

ii). Matériel utilisé :

- Tamis d'une maille 400 μ m
- Palette
- Mortier et pilon
- Bol en porcelaine
- Spatule
- Balance
- Surface de roulement (verre)
- Appareil de Casagrande

iii). Les étapes d'un essai :

- ✓ Préparer la pâte.
- ✓ Refaire l'opération au moins 4 fois sur la même pâte.
- ✓ Les nombres de coups N doivent encadrer 25.
- ✓ Former une boulette.
- ✓ Rouler la boulette $\varnothing=3\text{mm}$, $L=10\text{mm}$.
- ✓ Le rouleau ne doit pas être creux.
- ✓ Fissuration du rouleau = limite de plasticité, sinon, malaxage, séchage, refaire l'opération.
- ✓ Prélever la partie centrale du rouleau.
- ✓ Placer dans le godet.
- ✓ Déterminer la teneur en eau W_P .
- ✓ L'écart une 2 valeur de doit être $< 2\%$
- ✓ Effectuer un 2^e essai sur une nouvelle boulette.
- ✓ Calculer la limite de liquidité
- ✓ Tracer la droite $M_l=f[l_g N]$
- ✓ L'écart entre 2 valeurs de W_L doit être $< 3\%$
- ✓ Dédurre le graphe W_L correspondant à $N=25$
- ✓ Calculer $I_P = W_L - W_P$

iv). Présentation des résultats :

Le tableau suivant résume le résultat trouvé pour la détermination de la limite de liquidité de l'argile :

Tableau I-3 : Résultat de l'essai de limite de liquidité de l'argile

	1 ^e ESSAI		2 ^e ESSAI		3 ^e ESSAI	
Nombre de coups	16		21		26	
N° de la tare	20B	MSO	MB	61	100	48A
Poids total humide (g)	6.04	6.23	5.74	5.64	5.55	5.95
Poids total sec (g)	5.34	5.49	5.13	4.98	4.93	5.27
Poids de la tare (g)	4.09	4.16	4.02	3.77	3.79	3.99
Poids de l'eau	0.70	0.74	0.61	0.66	0.62	0.68
Poids de sol sec (g)	1.25	1.33	1.11	1.21	1.14	1.28
Teneur en eau (%)	56.00	55.64	54.95	54.55	54.39	53.13
La moyen	55.82		54.75		53.76	

Calcul de la limite liquidité :

$$W_L = W (N/25)^{0.121} \quad (\text{I-4})$$

$$W = (P_h - P_s) / P_s \quad (\text{I-5})$$

$$W_L = (W_{L1} + W_{L2} + W_{L3}) / 3 \quad (\text{I-6})$$

Le tableau suivant résume le résultat trouve d'argile pour limite de plasticité :

Tableau I-4 :Résultat de l'essai limite de plasticité d'argile

	1°ESSAI	2°ESSAI	3°ESSAI	4°ESSAI
N° de la tare	D2	H3	A4	177
Poids total humide (g)	4.74	4.57	4.51	4.78
Poids total sec (g)	4.59	4.5	4.35	4.61
Poids de la tare (g)	4.06	3.92	3.76	4.01
Poids de l'eau	0.15	0.17	0.16	0.17
Poids de sol sec (g)	0.53	0.58	0.59	0.90
Teneur en eau (%)	28.30	29.31	27.12	28.38
Le moyen	28.81		27.73	
	28.27			

Pour calcul la limite de plasticité :

$$W_p = W (N/25)^{0.121} \quad (I-7)$$

$$W_p = (W_{p1} + W_{p2} + W_{p3}) / 3 \quad (I-8)$$

Pour calcul l'indce de plasticité :

$$I_p = W_L - W_p \quad (I-9)$$

D). Essai de bleu de méthylène NFP 94-068 :

Le bleu du méthylène est un colorant organique (bleu) utilisé dans différents domaines de science. Il est utilisé dans la géotechnique pour caractériser un sol contenant l'argile.

L'essai a pour objectif d'évaluer la richesse d'une argile en sol déterminant sa capacité à absorber les molécules du bleu de méthylène.

i).Matériel utilisé :

- ✓ Un agitateur mécanique ;
- ✓ Papier filtre ;
- ✓ Chronomètre ;
- ✓ Une burette.
- ✓ La solution bleue de méthylène.
- ✓ Tige en verre.



Figure I-4: essai de VBS

ii). Les étapes d'un essai :

- ✓ On prépare une quantité $m=200\text{g}$ de l'échantillon d'argile de diamètre 2mm
- ✓ On verse l'échantillon dans le malaxeur et on ajoute V' d'eau distillée
- ✓ On agite l'ensemble sous une vitesse $600\text{tr/min} \leq V \leq 800\text{tr/min}$ jusqu'à 5min
- ✓ On prélève une goutte à l'aide d'une tige en verre et on la dépose sur le papier filtre.
- ✓ Le test est dit positif si la tache entourant une auréole prend couleur bleu clair.

Le tableau suivant résume le résultat trouvé d'argile :

Tableau I-5 : résultat de l'essai de VBS pour l'argile

Profondeur (m)/PK	Volume (ml)	C	Fraction (%)	VBS
P ₁	150	1	9.9	2.81

$$\text{VBS} = V/m \text{ (I-10)}$$

La valeur d'essai : $\text{VBS} = 2.81$

I-2.2. Les essais sur le sable :

A). Analyse granulométrique :

Le tableau suivant résume les résultats trouvés pour le sable :

Tableau I-6: Résultat de l'essai d'analyse granulométrique de sable

Diamètre tamis (mm)	masse des refus (g)	refus cumulé	% refus	% tamisat

4	0.67	0.67	0.08	99.92
3.15	0.68	1.35	0.17	99.83
1.6	1.15	2.5	0.31	99.69
1.25	1.01	3.51	0.44	99.56
1	0.83	4.34	0.54	99.46
0.63	2.77	7.11	0.89	99.11
0.5	0.75	7.86	0.98	99.02
0.315	10.05	17.91	2.24	97.76
0.2	176.93	194.84	24.33	75.67
0.16	311.05	505.89	63.17	36.83
0.1	200.19	706.08	88.16	11.84
0.08	74.93	781.01	97.52	2.48
0.063	8.75	789.76	98.61	1.39

B). Equivalent de sable NF EN 933-8 :

L'essai d'Equivalent sable consiste à mettre en suspension les fines (particules < 0.063 mm soit 63 μ m) puis de les laisser se déposer au fond d'un tube transparent. L'équivalent de sable noté ES est alors la proportion du sable propre par rapport au reste de l'échantillon (sable).

Pour la réalisation de l'essai, on a utilisé le matériel suivant :

- Deux éprouvettes graduées identiques cylindrique, en verre ou en plastique transparentes, de hauteur 40cm, munis d'un bouchon en caoutchouc.
- Un piston d'essai.
- Un tube laveur

i). Les étapes d'un essai :

- ✓ Tamiser l'échantillon à 5mm et sécher pour obtenir une teneur en eau nul.
- ✓ Fixer au préalable le pourcentage de fines contenu dans l'échantillon soumis au test à 10%.
- ✓ Remplir le cylindre gradué jusqu' au premier trait avec la solution lavante .
- ✓ Laisser reposer 10minutes.
- ✓ Agiter l'ensemble.
- ✓ Remettre le tube en position verticale puis laver en descendant le tube laveur.
- ✓ Agiter le contenu du cylindre pour favoriser la remontée des fines et des éléments argileux.
- ✓ Laisser reposer les cylindres pendant 20 minutes.

- ✓ Mesurer à la règle la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculat par rapport au fond du cylindre gradué.
- ✓ Mesurer à la règle la hauteur h_2 du niveau supérieur du sable par rapport au fond du cylindre gradué.
- ✓ Descendre le piston dans le cylindre jusqu' à ce que l'embase repose sur le sédiment. Mesurer h_2 , distance entre la face intérieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon.

Le calcul de l'ES se fait comme suit :

$$ES = (h_2 / h_1) * 100 \quad (I-11)$$

I-2- 3. Les essais sur le déchet de verre :

Le déchet de verre a été récupéré chez un verrier (verre de vitrage), ensuite broyé en utilisant l'appareil Los Angeles, puis tamisé au tamis 0,5 mm.

I-3. Essais mécaniques sur les éprouvettes de brique :

Afin de voir l'effet d'ajout de déchets de verre sur la qualité de la brique, on a confectionné des éprouvettes de brique de forme prismatiques (4X4X16 cm³), en utilisant le moule de confection d'éprouvettes de mortier.

Les éprouvettes seront cuites, après, à différentes températures (variant de 800°C à 1200°C) et soumises aux essais de flexion et de compression.

Le mélange de référence est celui adopté par la briqueterie et qui correspond à 75% d'argile et 25% de sable. Dans les autres mélanges, on a substitué une partie du sable par le déchet de verre.

a). Préparation des matériaux:

i). Argile :

- ❖ L'argile a été récupérée à partir de la carrière de Medrissa par les techniciens du laboratoire LTPO et emballé dans des sacs (Figure I.5). Une fois au laboratoire, l'argile est fragmentée à l'aide d'un concasseur de laboratoire pour obtenir des particules de taille 3 mm, puis broyée manuellement avant d'être tamisée au tamis 0.5 mm (Figure I.6).



Figure I-5 :L'argile de Medrissa



Figure I. 6:L'argile préparée

ii). Sable :

Le sable utilisé pour cette étude est celui de la briqueterie de Medrissa. Le sable est utilisé dans le mélange après tamisage au 0.5mm (Figure I.7)



Figure I -7:le sable préparé

iii). Déchet de verre :

Le déchet de verre est concassé au laboratoire en utilisant l'appareil Los Angeles, puis tamisé aux tamis 3 , 2.5,1, 0.5mm. La fraction utilisée est 0/0.5mm (Figure I-8) .



Figure I-8 :Déchet de verre préparé

b). Préparation des mélanges :

- Pour préparer une éprouvette, il faudra à peu près 500 de matériau (mélanger 75% d'argile et 25%de sable), ensuite, on ajoute 25% d'eau.
- On mélange et on malaxe l'ensemble dans le malaxeur du laboratoire jusqu'à ce que nous obtenons une pâte cohésive.



Figure I-9 :Mélange (argile+sable)



FigureI-10 : Malaxage (Argile+Sable+eau)

Remarque : Nous avons préparé les mélanges en respectant le volume calculé dans le plan au niveau de briqueterie de Medrissa

- Argile (75%)
- Sable (25%)
- Quantité d'eau (25%)

c). Préparation d'éprouvettes de brique :

- Nous préparons les moules (16*4*4 cm) ;
- On place la pate dans un moule en bois pour préformer l'éprouvette (figure I-11) ;



Figure I-11 : Moule en bois

- On extrait le boudin et le presse dans le moule en acier (Figure I-12) ;



Figure I-12 : lapiecemettalique de presse

- On place le moule sur une presse (Presse Marshall) et on presse l'éprouvette dans le moule (Figure I-13) ;



Figure I-13 : Presse Marshall

- Nous laissons l'échantillon sécher à la température ambiante (du laboratoire) (Figure I.14)
- Nous mettons l'éprouvette dans le four à une température de 50°C pour la faire sécher (Figure I-14) ;
- On passe l'éprouvette à la cuisson (Figure I-15 et Figure I-16) ;

d). Essais sur les éprouvettes de brique :

- On récupère l'éprouvette du four après refroidissement complet ;
- On réalise les essais mécaniques (Flexion et compression) ;
- On prépare un échantillon de l'éprouvette on le soumet à l'analyse DRX.



Figure I-14 : l'éprouvette sécher



Figure I-15 : Epreuve de brique
Après la cuisson

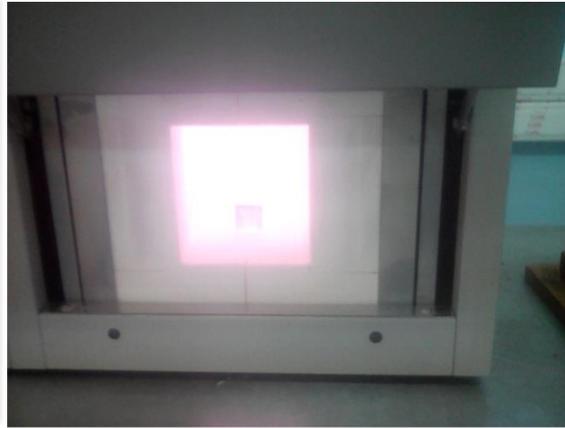


Figure I-16 : Epreuve de brique
dans le four

Remarque :

la quantité de mélange d'une seule épreuve est :

$M_m = 500\text{g}$ (25% sable et 75% d'argile ou 12.5% sable et 12.5% verre et 75% d'argile)

$M_e = 125\text{g}$ (quantité d'eau 5*25%)

Calcul la teneur d'eau d'une pâte :

$$W = (M_h / M_s - 1) * 100 \quad (\text{I-12})$$

$$W = (100 / 81 - 1) * 100 = 23.46 \approx 24\%$$

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des épreuves préparées.

Tableau I-7:Caractéristiques des différents mélanges

N ^o	Echantillon	Composition(%)	Température de cuisson (°C)	Date	Observation
1	Argile+Sable+Eau	75% A+25% S+25% E	1000	08/09	La préparation manuelle
2	Argile+Sable+Eau	75% A+25% S+25% E	1050	08/09	La préparation manuelle
3	Argile+Sable+ Verre +Eau	75% A+12.5% S+12.5V+ ≥25% E	1050	13/09	Le verre absorbé l'eau
4	Argile+Sable+ Verre +Eau	75% A+12.5% S+12.5V+ ≥25% E	1000	13/09	Le verre absorbé l'eau

5	Argile+Sable+Eau	75%A+25%S+25%E	1200	15/09	---
6	Argile+Sable+Verre +Eau	75%A+12.5%S+12.5V+ ≥25%E	1200	15/09	Le verre absorbé l'eau
7	Argile+Sable+Verre +Eau	75%A+12.5%S+12.5V+ ≥25%E	1100	17/09	Le verre absorbé l'eau
8	Argile+Sable+Verre +Eau	75%A+18.75%S+6.25V+ ≥25%E	1100	17/09	Le verre absorbé l'eau
9	Argile+Sable+Verre +Eau	75%A+12.5%S+12.5V+ ≥25%E	800	21/09	Le verre absorbé l'eau
10	Argile+Sable+Verre +Eau	75%A+12.5%S+12.5V+ ≥25%E	900	21/09	Le verre absorbé l'eau
11	Argile+Sable+Eau	75%A+25%S+25%E	900	21/09	---

Remarques :

-Séchage les éprouvettes avant la cuisson à la température 50°C pendant une heure.

-La zone de cuisson se situe à une température variant entre 800°C et 1200°C. Pour cette étape nous avons travaillé dans deux laboratoires : Laboratoire du Hall Technologique permettant une cuisson jusqu'à 1050 et le laboratoire de recherche disposant d'un four automatisé, permettant une cuisson entre 1200°C jusqu'à 1700°C.



Figure I-17 : four de 1200°C



Figure I-18 : Four de 1700°C

- L'éprouvette n° 6 est déformée après la cuisson à 1200°C (figure I-19) ;



Figure I-19 : éprouvette n°6 après la cuisson

Les courbes de cuisson utilisées sont les suivantes :

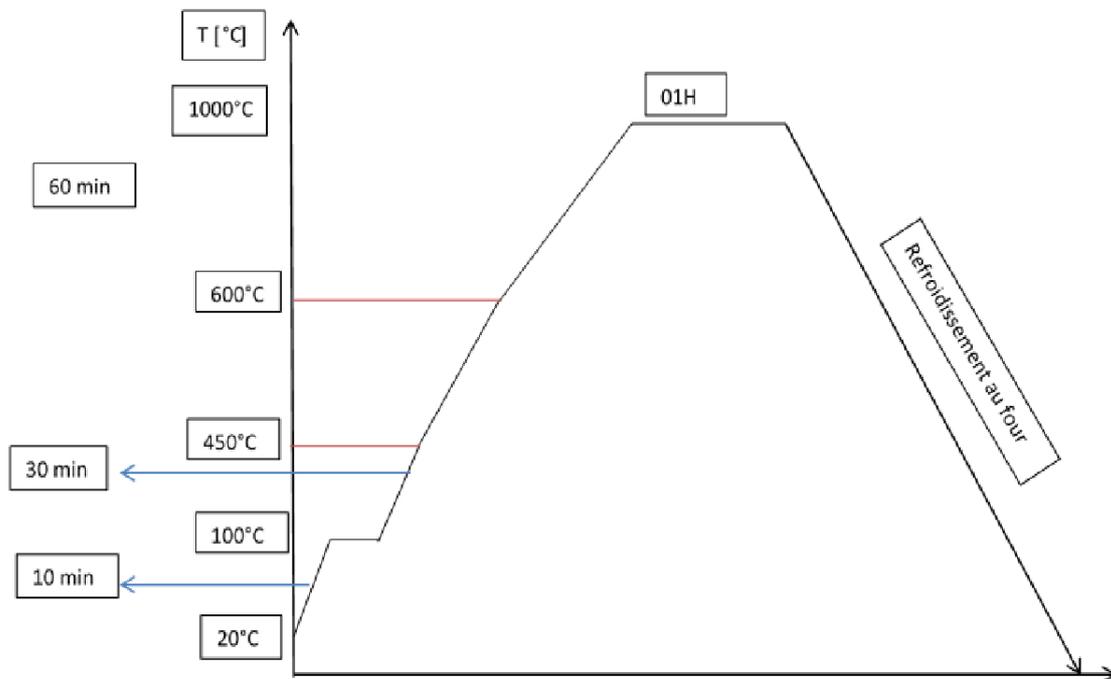


Figure I-20: Courbe de la cuisson à 1000°C des éprouvettes n° (1-4) de brique (4*4*16) cm³

- Le traitement se fait le 09/09/2020 pour un (01) échantillon d'éprouvette de brique Du 08h20 à 14h20 ensuite refroidissement au four fermé toute la nuit.

NB:

- Temps de chauffage (tc) de 20°C à 100°C est de 10 min (Vc :vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 100°C à 450°C est de 30 min (Vc :vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 600°C à 1000°C est de 01H (Vc :vitesse de chauffage du four).

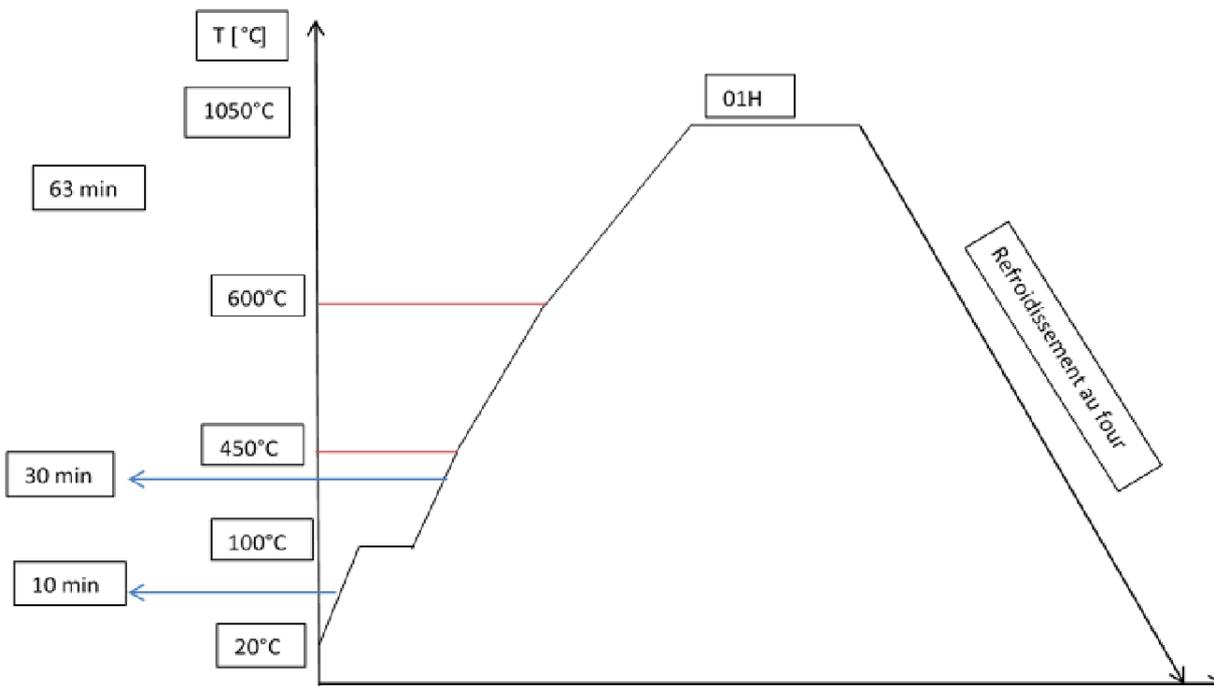


Figure I-21 : Courbe de la cuisson à 1050°C des éprouvettes n° (2-3) de brique (4*4*16) cm³

- Le traitement sera fait le 13/09/2020 pour un (01) échantillon d'éprouvette de brique Du 07h55 min à 14h36 min ensuite refroidissement au four fermé toute la nuit.

NB:

- Temps de chauffage (tc) de 20 °C à 100°C est de 07 min (Vc : vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 100°C à 450°C est de 30 min (Vc : vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 600°C à 1050°C est de 01H03 min (Vc :vitesse de chauffage du four).

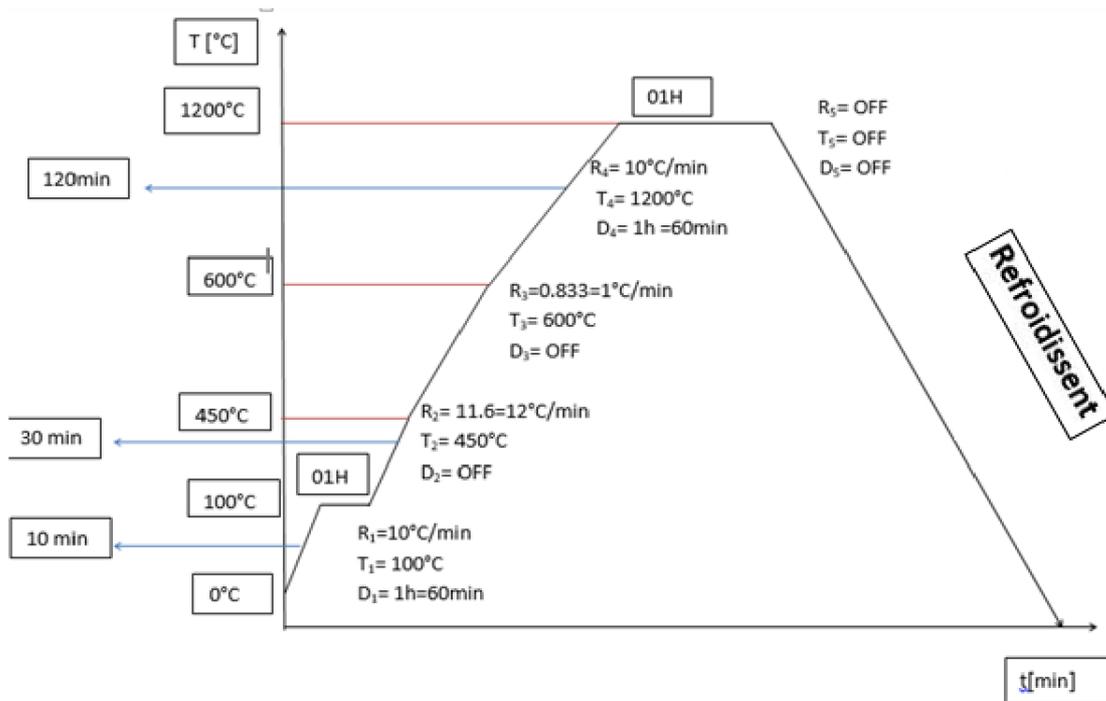


Figure I-22 : Courbe de la cuisson à 1200°C de éprouvette n° (6) de brique (4*4*16) cm³

- Le traitement se fait le 17/09/2020 pour un (05) échantillon d'éprouvette de brique Du 08h20 à 14h20 ensuite refroidissement au four fermé toute la nuit.

NB :

- Temps de chauffage (tc) de 0°C à 100°C est de 10 min (Vc :vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 100°C à 450°C est de 30 min (Vc : vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 600°C à 1200°C est de 01h (Vc : vitesse de chauffage du four)..
- l'éprouvette 6 de brique est déformée après la cuisson 1200°C

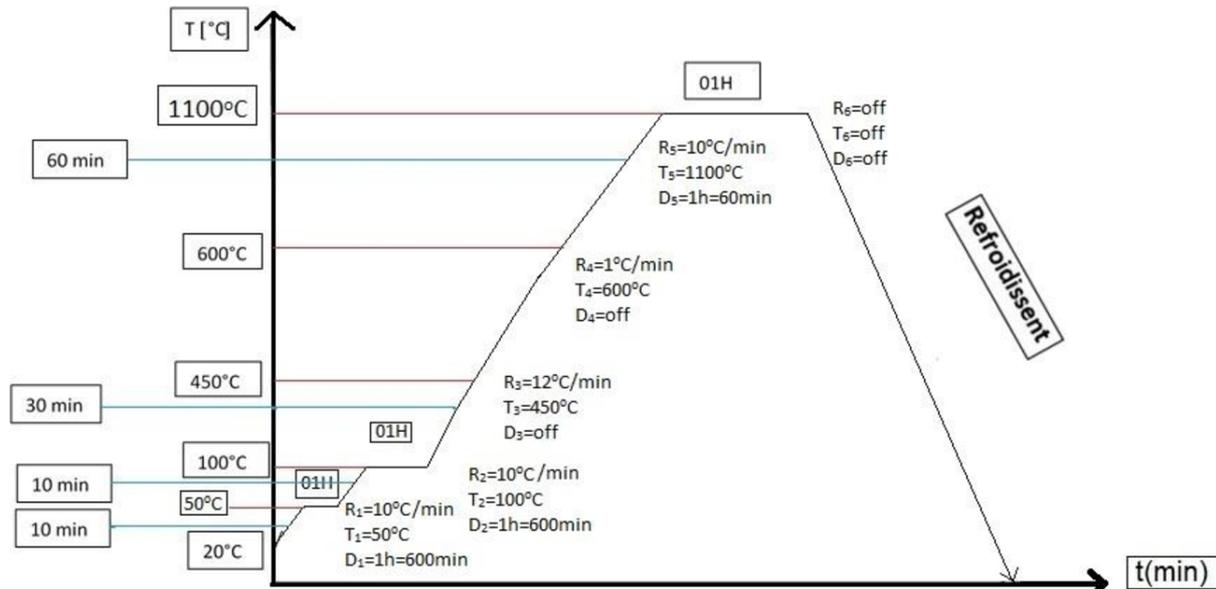


Figure I-23: Courbe de la cuisson à 1200°C des éprouvettes n° (5) de brique (4*4*16) cm³

- Le traitement se fait le 17/09/2020 pour un (05) échantillon d'éprouvette de brique Du 08h20 à 14h20 ensuite refroidissement au four fermé toute la nuit.

NB :

- pour séchage le temps (tc) de 0°C à 50°C est de 10min dans le four.
- Temps de chauffage (tc) de 50°C à 100°C est de 10 min (Vc : vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 100°C à 450°C est de 30 min (Vc : vitesse de chauffage du four).
- Temps de chauffage (tc) de 600°C à 1200°C est de 01h (Vc : vitesse de chauffage du four)..

Remarque : les deux courbes de cuisson à température de 800°C et 900°C sont similaires à celle de 1000°C.

I-4. Résistances mécaniques :

La résistance est la force maximale que peut supporter une pièce par unité de surface sans casser. Le test des matériaux d'ingénieur est défini comme : mesure des propriétés des matériaux et leur comportement dans diverses conditions. Les résultats obtenus à partir de cette mesure sont utiles pour déterminer les matériaux et leurs caractéristiques.

I-4-1. Essai de flexion :**i). Les étapes de l'essai :**

Avant l'essai de compression on teste les échantillons à la flexion



Figure I-24 : les échantillons avant le test

1. Mesurer la longueur et largeur et hauteur de l'échantillon avant de commencer le test 3 fois.
2. L'échantillon est placé dans la machine de pression supérieure et inférieure attachés au dispositif (la dimension de l'échantillon 4*4*16).



Figure I- 25 : machine de flexion

3. Appuyez sur le bouton pour la projection de charge sur le panneau de pression inférieur monte jusqu'à ce que la surface de l'échantillon soit lisse avec les chances supérieures de

pression, puis la lecture de fixation de l'appareil sera réinitialisée. La résistance de la charge R (N/cm^2).

Remarque :

On remplace les deux pièces métalliques pour compenser le jeu entre l'éprouvette et son support.

Pour cet essai, on a pas pu tester les éprouvettes n° 7 et n°9, car elles présentent des formes irrégulières (Figure I. 27).



Figure I-26 : les éprouvettes (7 -9)

I-4-2. Essai de Compression :

Le test de compression permet de déterminer la réaction d'un élément lorsqu'il est écrasé ou lorsqu'une force lui est appliquée en compression.

Le test de compression peut être considéré comme opposé au test de tension en termes de direction de l'impact de la charge, mais il existe certaines limites pour ce test, notamment les suivantes :

Difficulté à délivrer une charge axiale ou centrée de manière réelle.

Frottement généré entre les disques de chargement de la machine et les surfaces supérieur et inférieur de l'échantillon en raison de l'expansion latérale), et cela affecte les résultats obtenus, car cela conduit à une instabilité relative, et donc la forme finale de l'échantillon est en forme de tonneau (barrel) .

i). Les étapes de l'essai :

Il est nécessaire d'obtenir un positionnement axial précis de l'échantillon avec les deux dispositifs d'essai, par lequel le processus de compression est effectué, et les surfaces de ces

disques qui sont en contact avec la surface supérieure et inférieure de l'échantillon sont nettoyées avec une substance qui dissout les graisses de ces surfaces avant de commencer la procédure d'essai. Frottement aux deux extrémités du modèle en le lubrifiant avec de la paraffine, par exemple, et dans ce test nous suivons les étapes suivantes :

1. Mesurer la longueur et largeur de l'échantillon avant de commencer le test.
2. L'échantillon est placé entre les disques de pression supérieure et inférieure attachés au dispositif.



Figure I-27 : Machine de compression

3. Appuyez sur le bouton pour la projection de charge sur le panneau de pression inférieur monte jusqu'à ce que la surface de l'échantillon soit lisse avec les chances supérieures de pression, puis la lecture de fixation de l'appareil sera réinitialisée. la force de la charge F_{\max} (KN) sur la surface (4*4) cm.

Calcul :

On extrait la valeur de contrainte dans le cas de la compression en divisant la charge de pression par la surface d'origine.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \text{Contraint en MPa} \\ F_{\max} = \text{Force en KN} \\ A = \text{Surface en mm}^2 \end{array} \right.$$

$$\sigma = F_{\max} / A \quad (\text{I-13})$$

I-5. L'essai chimique :**I-5-1. L'essai diffraction de rayon X :**

Diffraction de rayons X est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X par la matière, diffusion élastique.

i). Les étapes de l'essai :

1. préparés poudres échantillons pour l'essai (broyage des éprouvettes manuel) ;
2. placez une quantité de poudre sur un morceau de verre ;
3. mettez un morceau dans la machine diffractomètre RIGAKU ;



Figure I- 28 :machine diffractomètre

4. laissez – le dans une machine et lisez les résultats de l'ordinateur ;
5. Interpréter les résultats avec un graphique (diffractogramme) ;

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes expériences menées sur les matériaux formant la brique et la résistance mécanique, avec une explication de toutes les étapes de préparation des échantillons (4*4*16) cm .

CHAPITRE 2 :
PRÉSENTATION ET INTER
PRESTATION DES ESSAIS
RÉALISÉS

II-1. Introduction :

Dans ce chapitre, on présente les résultats des essais réalisés ainsi que leurs analyses. Il s'agit, principalement, des essais mécaniques réalisés sur des éprouvettes de brique (essais de flexion et de compression) et des essais d'analyse spectrale des échantillons d'éprouvettes de brique en utilisant la technique DRX.

II-2 . Identification des matériaux utilisés:

II-2-1. Identification de l'argile :

D'après L'analyse granulométrique (Figure II-1) et les résultats d'identification de l'argile présentés dans le chapitre précédent et d'après le GTR (Guide des Terrassements Routiers), notre échantillon est A₃ (Argiles et Argiles Marneuses), car l'indice de plasticité (IP) est compris entre 25 et 40.

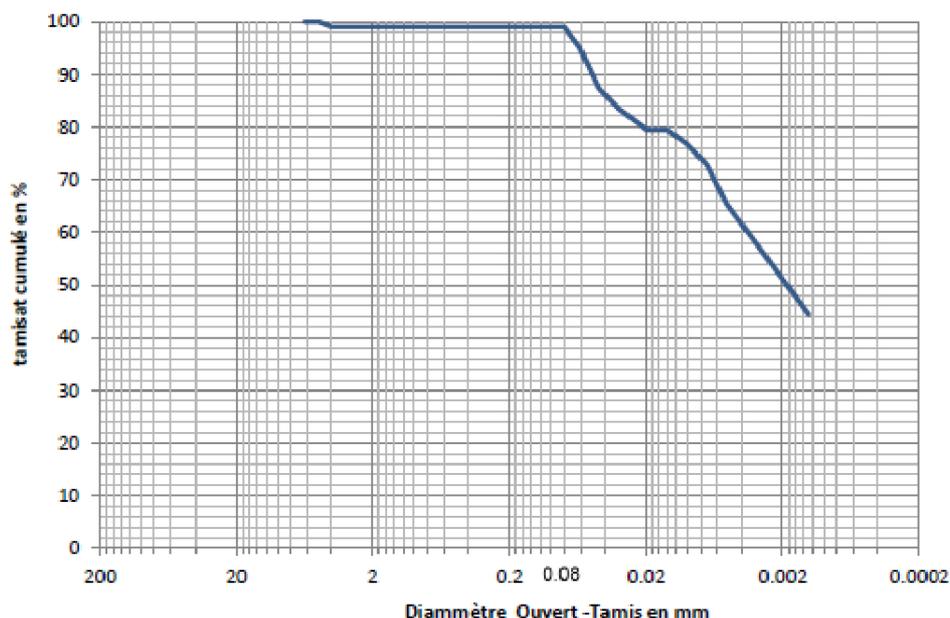


Figure II-1 : Courbe granulométrique de l'argile

De point de vue structure minéralogique (Figure II-2), l'analyse DRX a fait ressortir ce qui suit :

- Un pic intense de Quartz,
- Des pics de moyenne intensité, aux alentours de $2\theta = 20^\circ$, montrant la présence de Kaolinite.

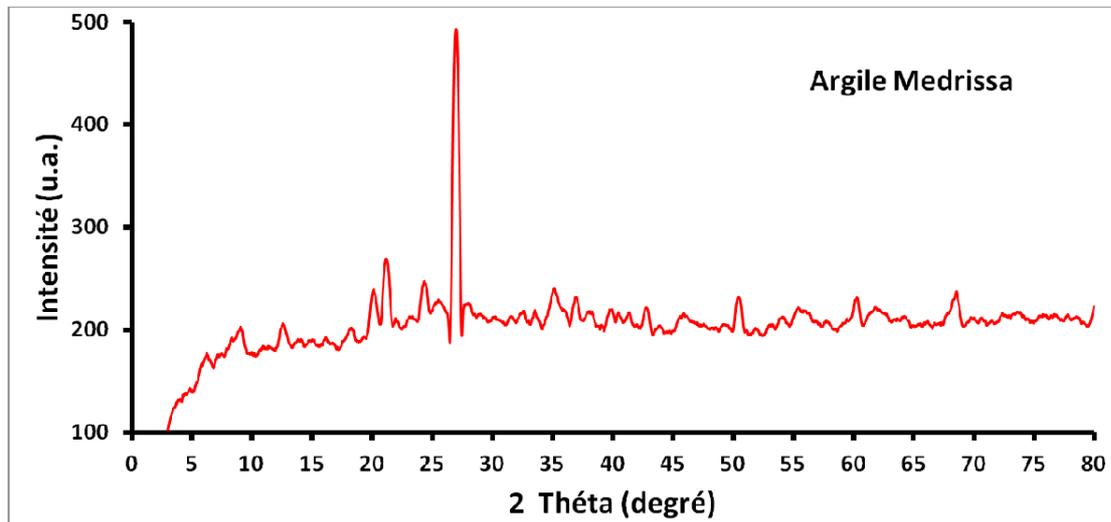


Figure II-2: Analyse DRX effectuée sur l'échantillon d'argile

II-2-2. Identification du sable :

L'analyse granulométrique (Figure II-3) a révélé que le matériau est un sable fin (0/0,3mm).

Le Coefficient d'uniformité : $C_u = 1,9 (<2)$; Donc la granulométrie est uniforme et très serrée.

Le Coefficient de courbure : $C_c = 1,5$ (compris entre 1 et 3) ; donc le sol est gradué

L'Equivalent sable est de l'ordre de 36%, donc le sol analysé est un sable argileux (pollué).

L'Essai VB a donné un résultat de $VB = 1,73$, donc il s'agit d'un sable limoneux.

L'analyse DRX de l'échantillon révèle l'existence d'un pic très intense de Quartz (Figure II-4).

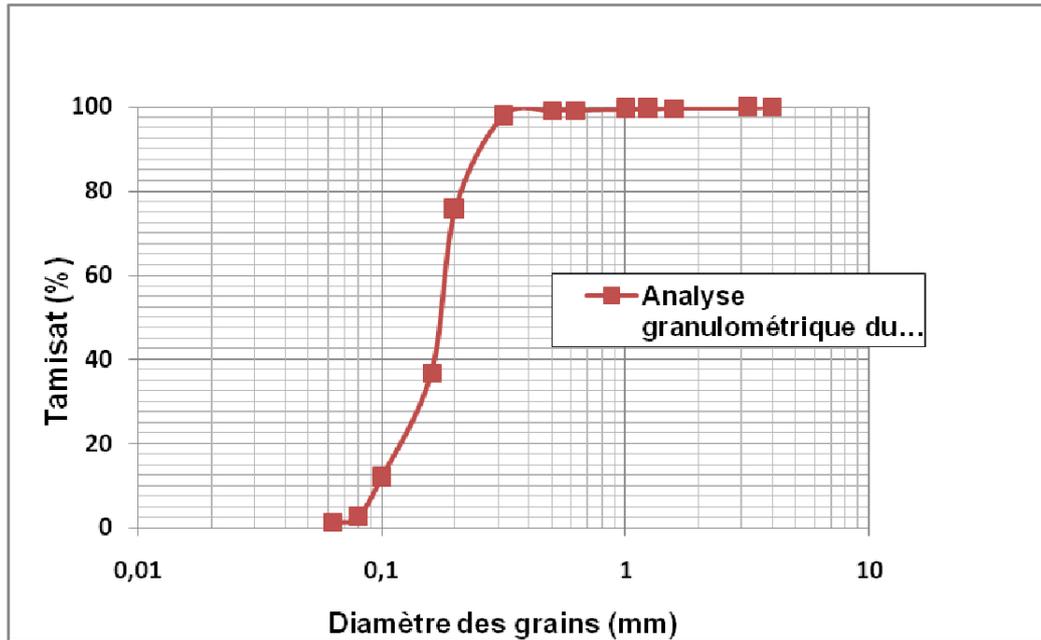


Figure II-3 : Courbe granulométrique du sable

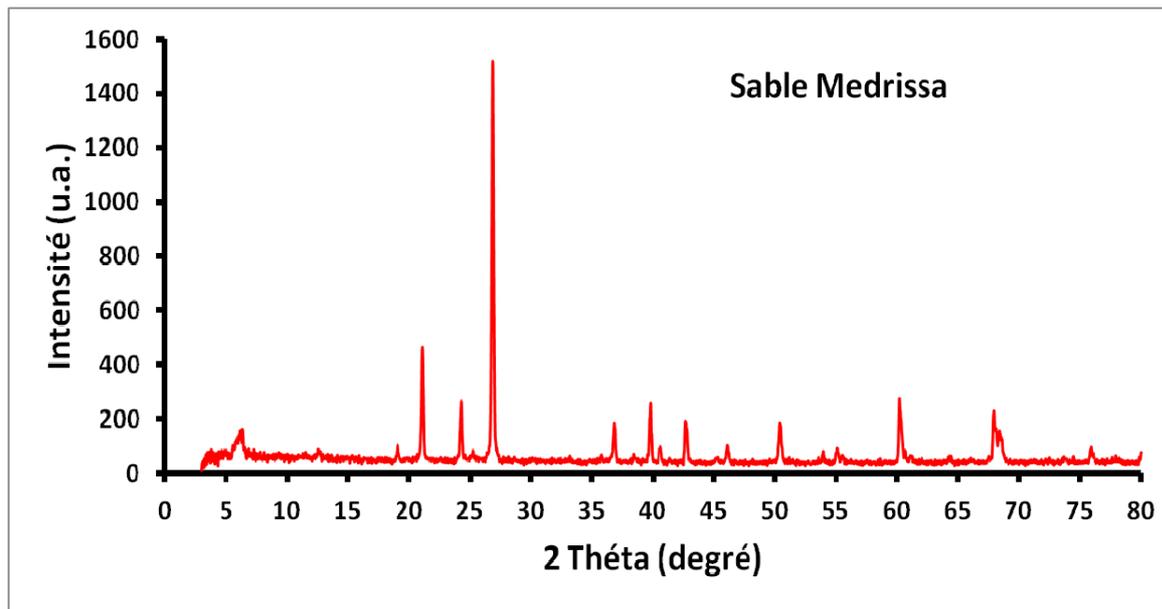


Figure II-4: Analyse DRX effectuée sur l'échantillon de sable

II-2-3 . Identification du Verre broyé :

L'analyse granulométrique du verre broyé est présentée sur la Figure II-5.

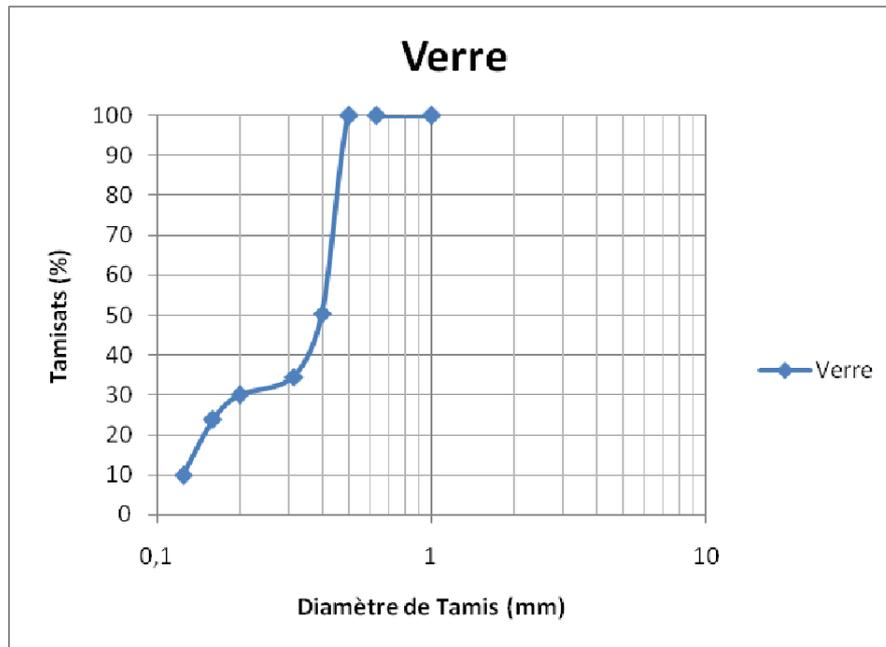


Figure II-5 : Courbe granulométrique du verre broyé

L'analyse DRX de l'échantillon de verre confirme sa nature. En effet, le verre a une structure amorphe, ce qui donne une réponse spectrale brouillée (Figure II-6).

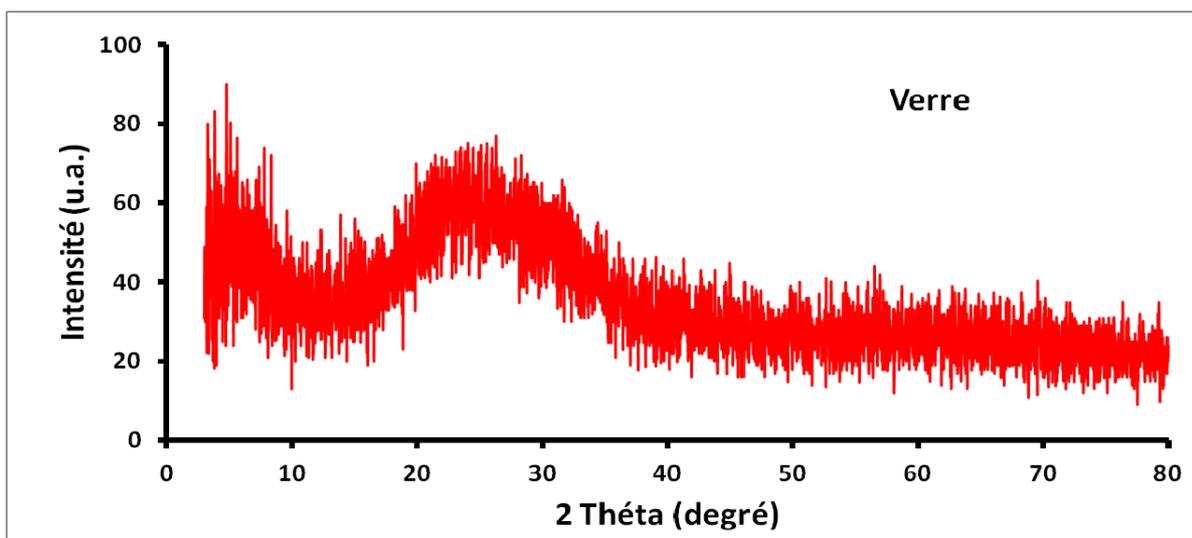


Figure II-6: Analyse DRX effectuée sur l'échantillon de verre broyé

II-3. Essais Mécaniques:

II-3-1. Essais de Flexion :

La figure II-7 présente les résultats des essais de flexion réalisés sur les différentes éprouvettes de brique.

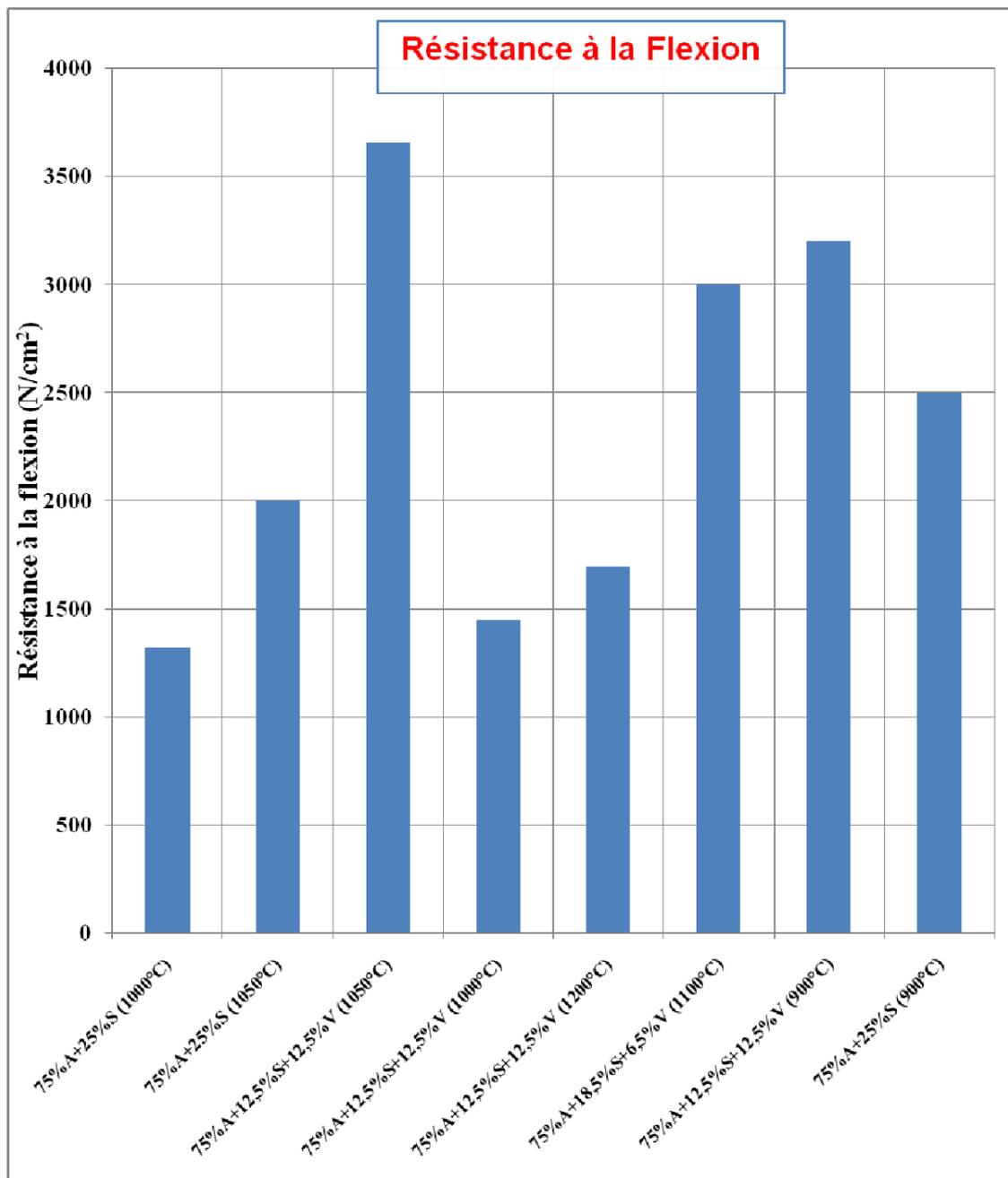


Figure II-7: Résultats des essais de flexion sur les différentes éprouvettes de brique

On peut remarquer que les éprouvettes contenant du verre donnent les meilleurs résultats, ce qui met en évidence l'intérêt d'ajout du verre dans la composition de la brique. En effet, à la température de 900°C, la résistance à la flexion augmente de 28%, tandis qu'à la température de 1050°C, on enregistre une amélioration de la résistance à la flexion de l'ordre de 83%. Cela, peut être expliqué par la fusion du verre qui remplit les pores et augmente la densité, ce qui renforce la structure de la brique. Malheureusement, certaines éprouvettes ont subi des déformations lors de la cuisson, ce qui nous a empêchés de vérifier cette tendance pour les différentes températures.

II-3-2. Essais de Compression :

La figure II-8 présente les résultats des essais de compression réalisés sur les différentes éprouvettes de brique (dés (morceaux) des éprouvettes obtenus après l'essai de flexion).

On remarque que les résultats des essais de compression confirment ceux des essais de flexion, c'est-à-dire, une amélioration de la résistance après ajout de verre, néanmoins l'augmentation n'est du même ordre. En effet, à la température de 900°C, la résistance à la compression augmente de l'ordre de 21%, alors que pour la température de 1050, on a obtenu une amélioration de l'ordre de 17% seulement. Si on se réfère aux résultats de la flexion, on devrait avoir pour cette dernière température une augmentation plus importante.

Dans la section qui suit, on essaiera à travers l'analyse spectrale (DRX) de donner des interprétations à l'augmentation de la résistance engendrée par le changement dans la structure de la brique en fonction de sa composition initiale et la température de cuisson.

II-4. Essais de Diffraction aux rayons (DRX):

Les résultats des essais de diffraction par rayons X (DRX) réalisés sur les différents échantillons d'éprouvettes de brique sont présentés sous forme de spectres de réponse sur les figures II-9 jusqu'à la figure II-19 (voir aussi tableau I-7) des caractéristiques des éprouvettes de brique). Il est à rappeler que les éprouvettes de brique ont été fabriquées avec différents mélanges d'argile, de sable et de verre et cuites à différentes températures de cuisson allant de 800°C à 1200°C.

Pour nous permettre de faire une comparaison entre les mélanges cuits à différentes températures et la brique fabriquée à l'usine, nous avons effectué également une analyse DRX sur le produit fini à l'usine de Mederissa dont le résultat est présenté sur

la figure II-20.

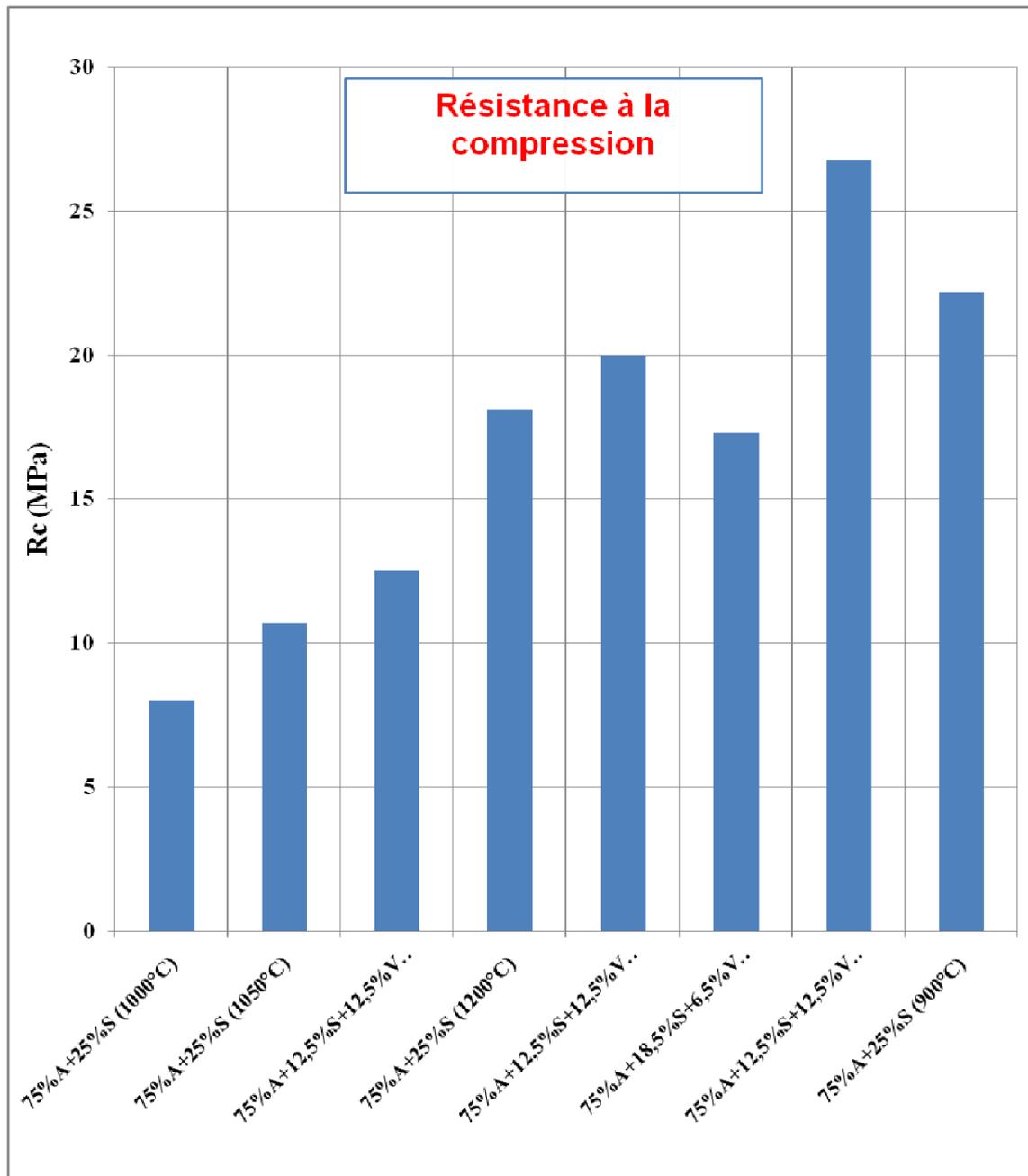


Figure II-8: Résultats des essais de compression sur les différentes éprouvettes de brique

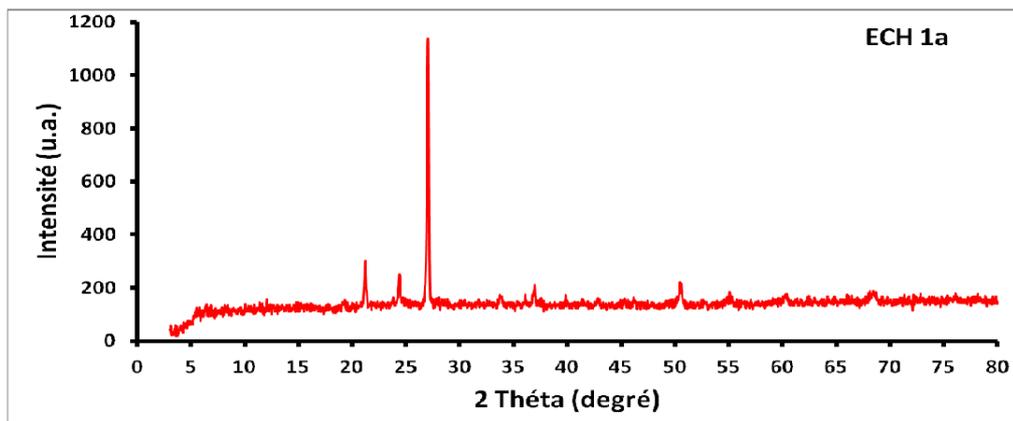


Figure II-9: Spectre de réponse de l'éprouvette n°1 (75%A+25%S) cuite à 1000°C

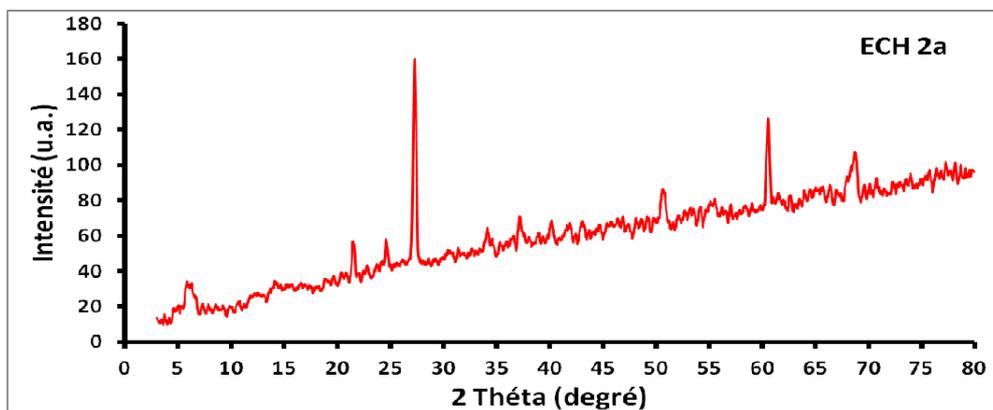


Figure II-10: Spectre de réponse de l'éprouvette n°2 (75%A+25%S) cuite à 1050°C

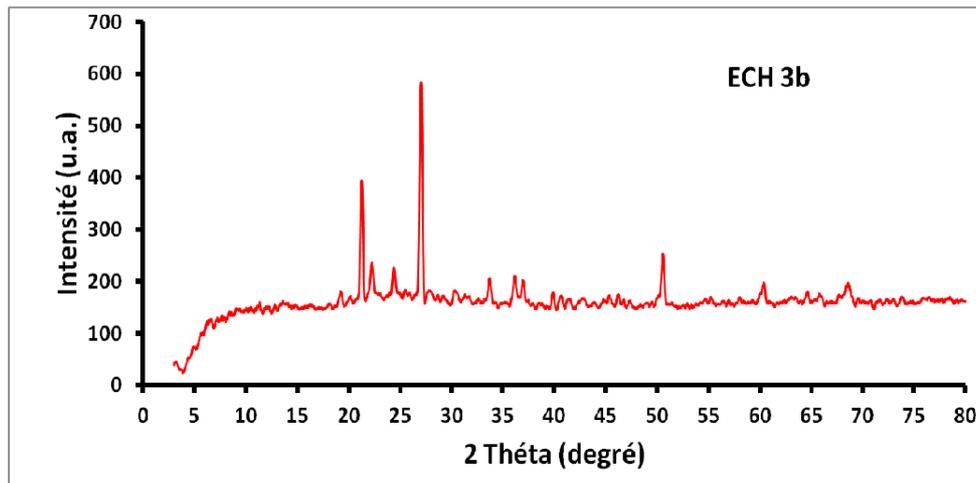


Figure II-11: Spectre de réponse de l'éprouvette n°3 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1050°C

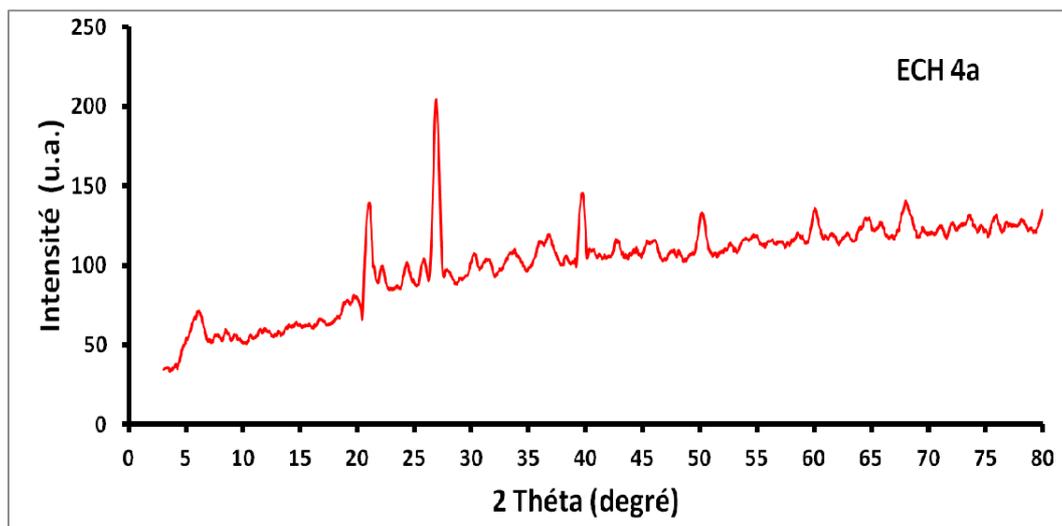


Figure II-12: Spectre de réponse de l'éprouvette n°4 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1000°C

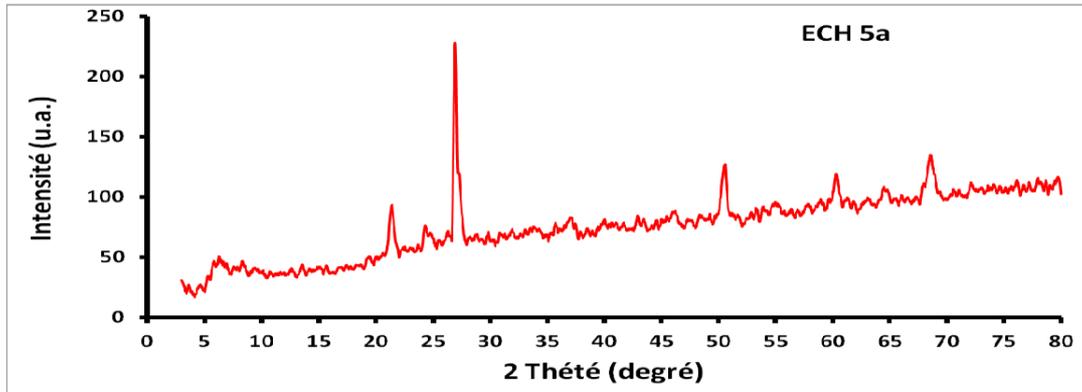


Figure II-13: Spectre de réponse de l'éprouvette n°5 (75%A+25%S) cuite à 1200°C

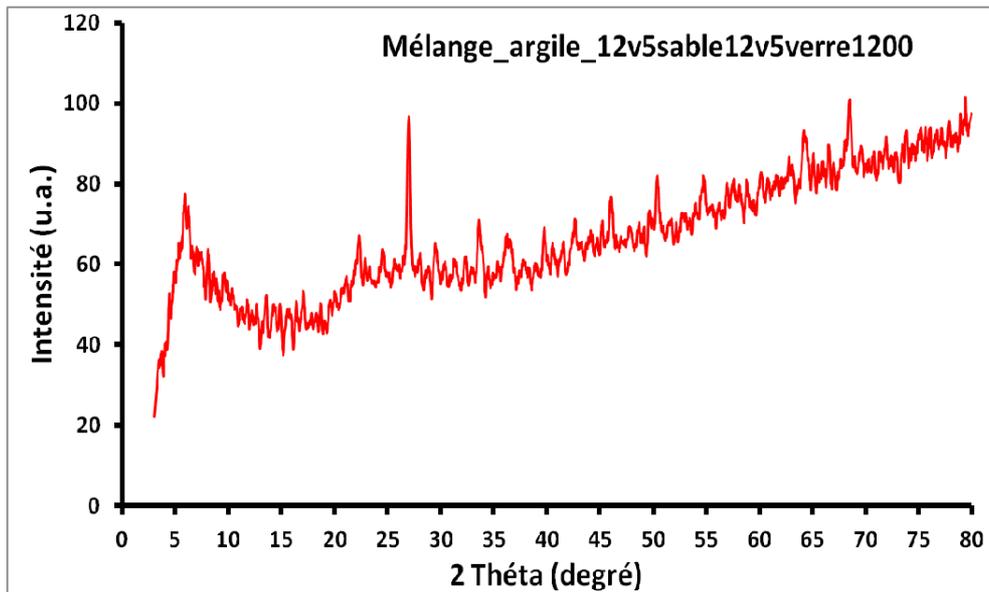


Figure II-14: Spectre de réponse de l'éprouvette n°6 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1200°C

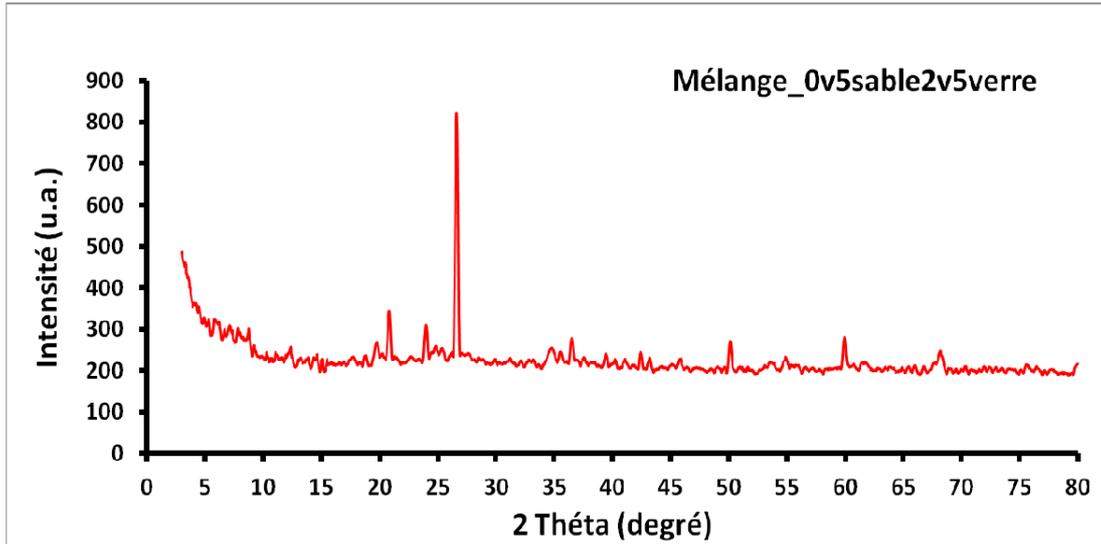


Figure II-15: Spectre de réponse de l'éprouvette n°7 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 1100°C

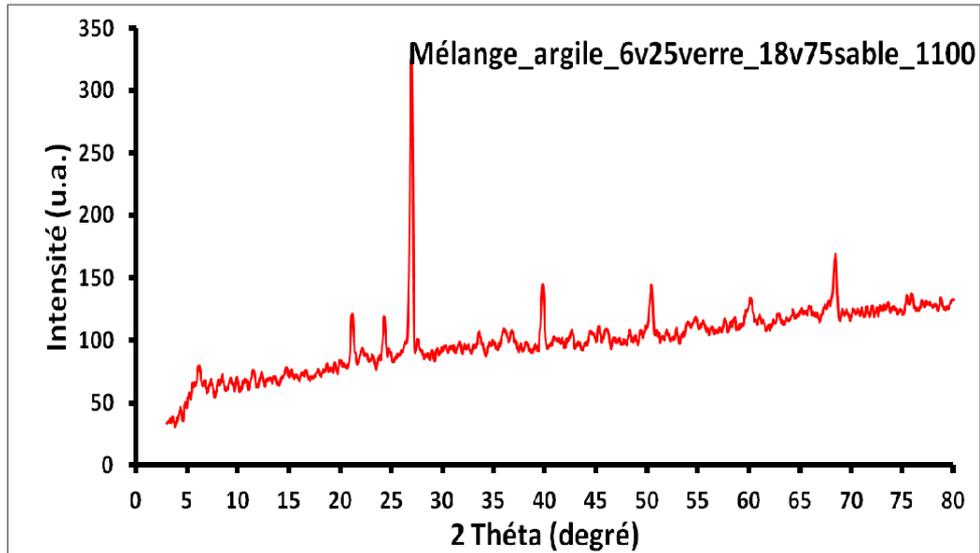


Figure II-16: Spectre de réponse de l'éprouvette n°8 (75%A+18,25%S+6,25V) cuite à 1100°C

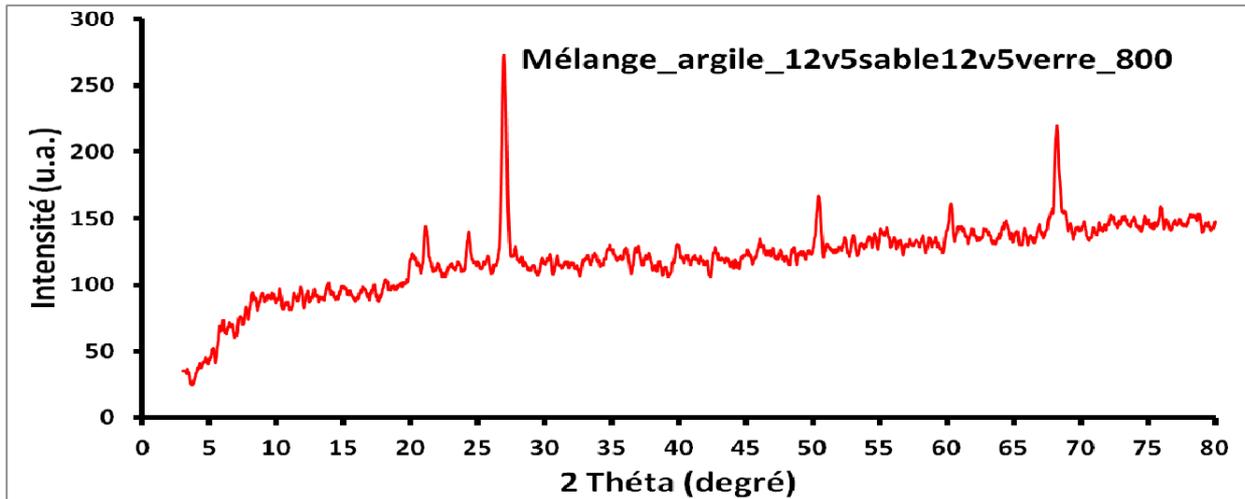


Figure II-17: Spectre de réponse de l'éprouvette n°9 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 800°C

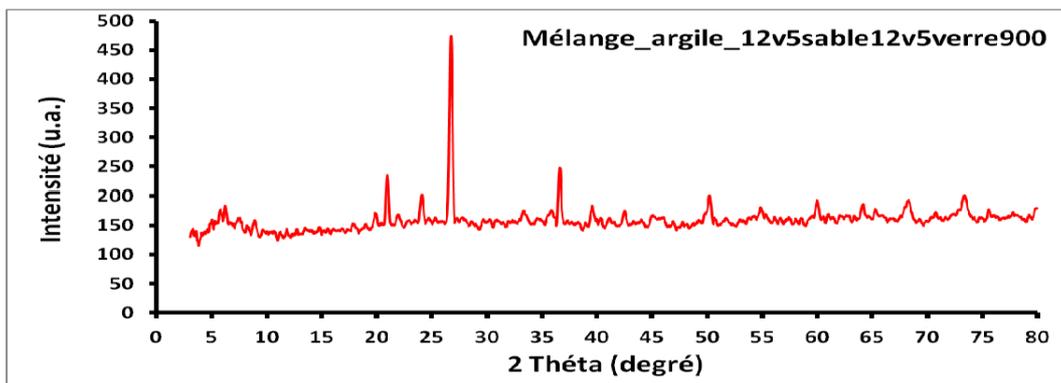


Figure II-18: Spectre de réponse de l'éprouvette n°10 (75%A+12,5%S+12,5V) cuite à 900°C

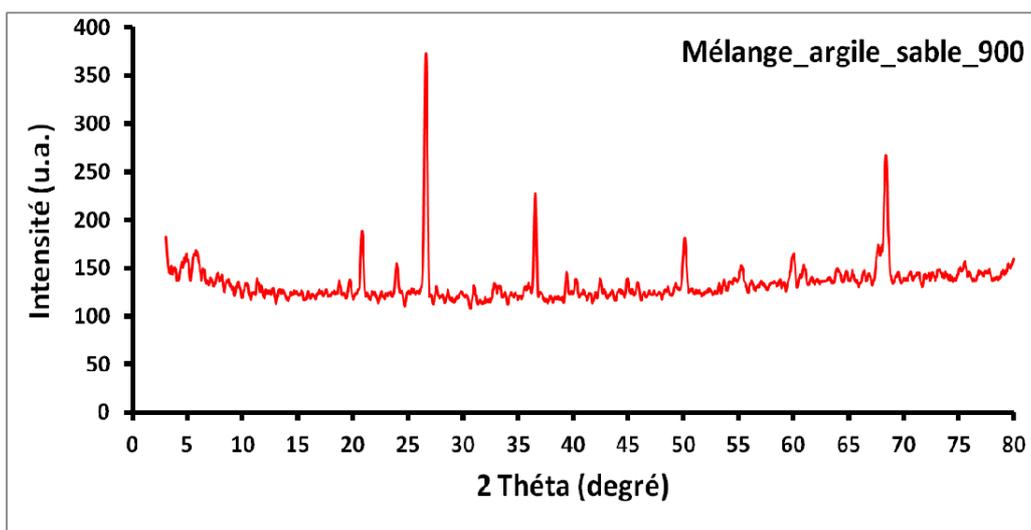


Figure II-19: Spectre de réponse de l'éprouvette n°11 (75%A+25%S) cuite à 900°C

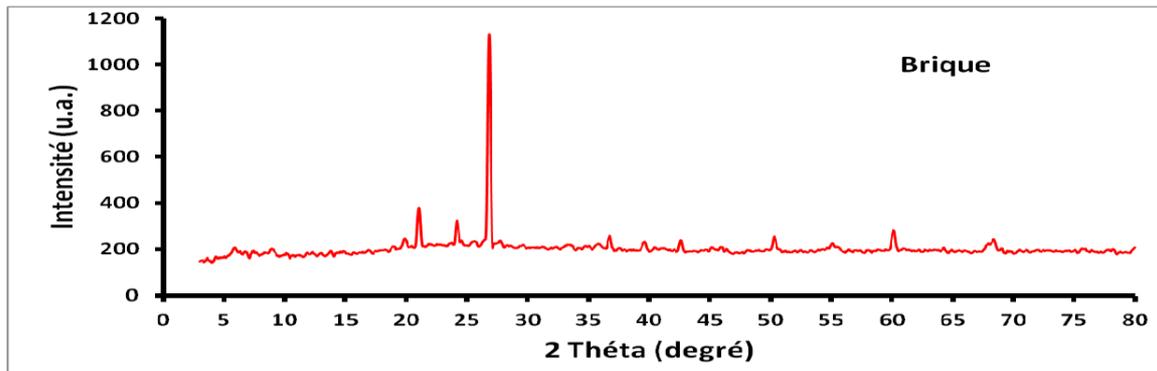


Figure II-20: Spectre de réponse de l'échantillon de brique fabriquée à l'usine (75%A+25%S) cuite à 860°C

La Kaolinite est présente dans l'argile (à $2\theta=12^\circ$), quoi qu'elle peut être présente également) à $2\theta=20^\circ$ et à $2\theta=25^\circ$. L'Illite est présente dans le sable (car il est pollué) à $2\theta= 8^\circ$, mais elle peut être aussi présente à 18 ou 27° . Le Quartz est présent à la fois dans l'argile est dans le sable à $2\theta=25^\circ$ à 26° .

La réduction de l'intensité des pics (500-800) de la Kaolinite indique une rupture de la structure cristalline. Les phases cristallines de l'Illite et du Quartz restent présentes.

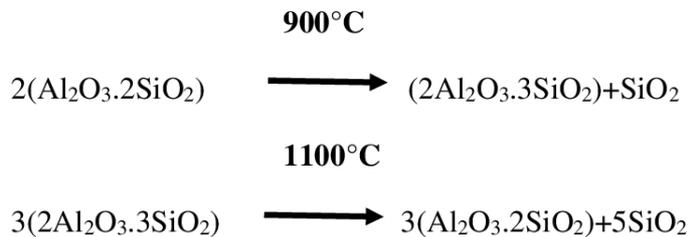
Après 900°C , les pics de diffraction de la Kaolinite sont complètement absents, indiquant une déshydroxydation complète.

A 1100°C , le développement de nouvelles phases cristallines devient évident. En effet, il y aura la formation de γ -allumine (à 37° , 46° et 67°) et de Mullite (à 16° , 33° , 41° , 61° et 74°). Cette dernière est caractérisée par :

- Un faible coefficient de dilatation thermique ;
- Excellente stabilité thermique ;
- Résistance aux chocs thermique.

Les formes cristallines de la Mullite, dans la matrice argileuse, augmentent le volume de 10%, ce qui permet de faire disparaître toute cavité ou porosité, provoquant ainsi une densification du matériau.

Dans le domaine des hautes températures (900°C à 1200°C), la métakaolinite se cristallise en phase spinelle (AlSiO). La métakaolinite se décompose tout d'abord en γ -allumine et en spinelle puis en Mullite, selon les réactions chimiques suivantes (Guatame et al., 2018) :



La densification à 1200°C est essentiellement entraînée par la fusion du Feldspath et du Quartz, le contraire se passe au-delà de cette température (Kitouni et al., 2011).

À la lumière de ce qui précède, on peut conclure que l'ajout du verre au mélange permet d'augmenter la résistance de la brique, qui est expliquée par la fusion du verre causant une densification de la structure de la brique. Ce phénomène se produit à des températures inférieures à 1100°C, ce qui permet de réduire le coût énergétique de la brique tout en obtenant des résistances mécaniques élevées du produit.

Conclusion :

Les résultats des essais mécaniques ont montré que l'ajout du verre broyé a amélioré les résistances mécaniques des éprouvettes de brique, que ce soit en flexion ou en compression.

L'analyse DRX a mis en évidence des changements dans la structure de la brique cuite à différentes températures. Sous l'effet de la cuisson, des réactions chimiques se produisent, en donnant des nouveaux composés plus denses, ce qui augmente la résistance de la brique. On a constaté également que la fusion du verre permet de densifier la structure de la brique et par conséquent une amélioration de sa résistance, tout en réduisant le coût énergétique de la fabrication de ce produit.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

CONCLUSION GENERALE

Conclusions générales

Le recyclage du verre revêt un aspect intéressant pour la préservation des ressources naturelles, d'une part et pour la protection de l'environnement, d'autre part, d'où la nécessité de valoriser ce matériau dans plusieurs domaines.

Le choix du domaine de valorisation s'est porté sur le domaine de la construction du fait que ce dernier consomme des quantités énormes de matériaux et n'exige pas une sélection des produits de verre.

Le travail présenté constitue une contribution dans ce sens et consistait en une contribution à la valorisation des déchets de verre dans la fabrication de brique en vue d'améliorer ses résistances mécaniques.

Le travail, purement expérimental, a été réalisé dans plusieurs laboratoires ; du département, du LTPO, du hall technologique et de l'équipe de recherche de Technologie industrielle.

Le but du travail est d'étudier l'influence de l'ajout de particules de verre broyé de dimensions 0.5 mm sur la composition de la brique comme matériau dégraissant. Les essais réalisés à ce titre sont principalement les essais mécaniques et les essais d'analyse spectrale par rayons X (DRX).

Il a été trouvé que l'ajout du verre broyé au mélange argileux permet d'améliorer les résistances mécaniques tant en compression qu'en flexion.

La diffraction par rayon X a mis en évidence la densification de la structure de la brique suite à la cuisson des éprouvettes de la brique, ce qui traduit par une amélioration de la résistance mécanique.

L'amélioration des résistances de la brique contenant du verre a été interprétée par la fusion de ce dernier permettant de combler les cavités et diminuer la porosité.

Les résultats montrent bien l'intérêt de l'ajout du verre broyé dans la composition de la brique pour l'amélioration des résistances mécaniques et la réduction du coût énergétique, ce qui permet de préserver les ressources naturelles et des réduire les gaz à effet de serre.

Cependant, des essais plus poussées devront être réalisées pour bien élucider le phénomène de densification de la brique en fonction de la température de cuisson (étude thermique).

En outre, le thème de notre projet de fin d'études, nous a facilité en tant que étudiant l'intégration progressive dans notre future cadre de travail

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES :

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] **René Vacher** laboratoire des verres, U.M.R.CNRS 5587 université de Montpellier 2.
- [2] **Gérard Pajean**, octobre 2007, « L'élaboration du verre »— page 14-15.
- [3] **H. Scholze**, 1980 .Le verre : Nature structure et propriété. 2^{ème} édition ; Institut du verre paris, (1980)
- [4] **Le verre**, « **matériau de construction** ». Page 15.
- [5] **B .Dubois**, 1984, thèse, université de Bordeau I, (1984).
- [7] **M .Imakoa**, **H .Hasegawa**, Phys. chem .Glasses, 212 (1980) 67.
- [8] **C.J. Prebende**, **J .Cottrant**, **B .Dubois**, **J.J.Videau**, **J .Portier**, 1986, Revue de chimie Minérale, t23 (1986) 231.
- [9] **M .Poulain**, **J .Lucas** et **P .Brun** : Mat. Res. Bull.10, 243-246(1975).
- [10] **Jerzy Zarzycki**, **Vch**, New york 1991, Materials science and technology volume 9, Glasses and Amorphous Materials .
- [11] **K.A.C.Richardson**, **J.M .Mckinley**,**B.Lawrence**, **A. Villeneuve**, comparison of nonlinear optical properties of sulfide glasses in bulk and thin film form. A être publié dans Opt. Mat (1997).
- [12] **Hakmi Mohamed amine** et **Hamdani Mohamed Tarek**, 2012, « valorisation des déchets en verre dans l'industrie des briques réfractaires », mémoire de fin d'étude, université Dr Moulay Tahar de Saida.
- [13] **ADEME**, 2006, « les installations de traitement des ordures ménagères », PDF.
- [14] **Brahim DJEMACI**, 2011, la gestion des déchets en Algérie : analyse prospective et éléments d'efficacité, thèse de doctorat, université de Rouen.
- [15] **M'RAIM Tarik**, 2019, « amélioration de la portance des argiles par ajout de particules de verre récupère », mémoire de fin d'étude, université IBN khaldoun de Tiaret.
- [16] **MATE**: « Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement »,2005 .
- [17]**MOHAMED ABDELILLAH BELKACEME**, **HAFSA AMMARI**, 2017, « utilisation du verre recycle dans les matériau granulaire du corps de chaussee », mémoire de fin d'étude, université IBN khaldoun de Tiaret.
- [18] **petites leçons de ville**, 2018, « **La brique** – la leçon », PDF, par le CAUSE de Paris.
- [19] Technique de l'ingénieur: Matériaux de terre cuite. C905 , Mai 1987.
- [20] **A-KOMAR**, 1978, « Matériaux et élément de construction », édition MIR1978.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[21] SALHI Malek, 2015, « valorisation des terres décolorantes dans la production de brique », mémoire de master, université Abderhmane MIRA de Bejaia.

Site Internet:

www.dijon-vitrierie.fr

<http://concurso.verallia.com.br>.

<http://www.assnat.qc.ca/Media/>

<http://www.futura-sciences.com>

site « Conso Globe » image de tri

site « SIBELCO » le tri de verre

<https://www.guide-artisan.fr>.

www.brique.be

www.iDropProject.com

Normes :

NF P94-051 : Détermination des Limites d'ATTERBERG

NF P94-068 : Essai de bleu de méthylène NFP 94-068

NF P94-057 : Essai d'Analyse granulométrique des sols méthode de sédimentation

NF EN933 -8 : Analyse granulométrique