

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

Partie 1 : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES MATIERES PREMIERES UTILISEES POUR LA REALISATION DU MINI-FOUR

Chapitre 1 : LES ARGILES	2
I-1 Généralités sur les argiles.....	2
I-1-1 Définition	2
I-1-2 Gisement des argiles d'Arivonimamo.....	3
I-1-3 Groupe d'Argiles.....	3
I-1-3-1 Groupe des KAOLINITES	3
I-1-3-2 Groupe des ILLITES	3
I-1-3-3 Groupe des SMECTITES.....	4
I-1-3 Constituants minéralogiques de l'argile	5
I-2 Utilisation possible des argiles	5
I-2-1 Matériaux réfractaires.....	5
I-2-2 Matériaux de construction	6
I-2-3 Médicament.....	6
Chapitre 2 : LE KAOLIN.....	7
II-1 Généralité sur le kaolin	8
II-2 Gisement du kaolin d'Arivonimamo	8
II-3 Description minéralogique	8
II-4 Propriétés	8
II-4-1 Propriétés physico-chimiques	8
II-4-2 Propriété colloïdale	9
II-5 Mode de formation et constitution des kaolins.....	9
II-6 Action de chaleur sur la Kaolinite	9
Chapitre 3 : ETUDE DES MATERIAUX REFRACTAIRES	10
III-1 Généralité	10
III-2 Définition des matériaux réfractaires.....	10
III-3 Les oxydes réfractaires.....	10
III-3-1 Définition.....	10
III-3-2 Les oxydes.....	11
III-3-2-1 L'alumine	11

III-3-2-2 La silice	12
III-3-2-3 La magnésie	13
III-3-2-4 La zircone	13
Chapitre 4 : LES REFRACTAIRES	14
IV-1 Définition	14
IV-2 Classification des réfractaires	14
IV-3 Caractéristiques technologiques des produits réfractaires	14
IV-3-1 Caractéristiques physico-chimiques	14
IV-3-2 Caractéristiques mécaniques à froid et à chaud	15
IV-4 principe de fabrication des produits réfractaires en KAOLIN	15
IV-4-1 Broyage	15
IV-4-2 Lavage	15
IV-4-3 Homogénéisation	16
IV-4-4 Séchage	16
IV-4-5 Cuisson	16
IV-5 Organigramme de déroulement de la fabrication de céramiques réfractaires ..	16
IV-6 Processus de fabrication de céramiques réfractaires	16
Chapitre 5: ISOLATION THERMIQUE	
V-1 Définition	17
V-2 L'isolant thermique	17
<i>Partie 2 : ETUDES EXPERIMENTALES</i>	
Chapitre 1 :LESMATERIAUX CERAMIQUES	18
I-1 Fabrication des produits céramique	18
I-2 Production des réfractaire	18
I-2-1 Principe	18
I-2-2 Technique de fabrication	18
I-2-3 Influence des oxydes dans la fabrication	18
Chapitre 2 : CHOIX DES MATIERS PREMIERES	19
II-1 Stockage des matières premières	19
II-2 Traitement des matières premières de base	19
II-2-1 Analyse granulométrique	19
II-2-2 Analyse chimique	22

II-3 Matières premières additives	24
II-3-1 La silice	24
II-3-2 Latérite	24
II-3-3 La dolomie	24
II-4 Préparation du mélange	25
II-4-1 Mélange	25
II-4-2 Dosage pour la fabrication des briques réfractaires	25
Chapitre 3 : REALISATION D'UN MINI-FOUR	25
III-1 Processus de fabrication	25
III-1-1 La composition des recettes	25
III-1-2 L'hydrolyse	25
III-1-3 L'homogénéisation	26
III-1-4 Le façonnage	26
III-1-5 La séchage	27
III-1-6 La cuisson	28
III-2 Finition de la fabrication	29
Chapitre 4 : ESSAIS ET MESURE DE QUELQUES PROPRIETES	
DU MINI-FOUR	30
IV-1 Essai mécanique	30
IV-2 Essai au choc thermique	30
IV-3 Essais aux produits chimiques	30
IV-4 Mesure de la conductivité thermique	30
IV-4-1 Objectif	30
IV-4-2 Méthode	31
IV-5 : Mesure de la température du four	31
INTERPRETATION ET CONCLUSION	
Annexe1	I
Annexe2	IV
Annexe3	V
Annexe4	VI

LISTE DES FIGURES

Figure1 : Représentation schématique de la cellule Argileuse	2
Figure2 : Représentation en perspective d'une structure de kaolin	3
Figure3 : Représentation en perspective d'une structure d'illite	4
Figure4 : Représentation en perspective d'une structure smectite	5
Figure5 : Organigramme de déroulement de fabrication des céramiques réfractaires à froid	16
Figure6 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°1	20
Figure7 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°2.....	20
Figure8 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°3.....	21
Figure9 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°4.....	21
Figure10 : Représentations graphiques des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°5.....	22
Figure11 : Représentations en perspective de brique réfractaire.....	26
Figure12 : Courbe de séchage.....	27
Figure13 : Courbe de cuisson	28
Figure14 : Représentation en perspective d'un mini-four	29
Figure15 : Courbe de chauffage	30
Figure16 : Courbe de refroidissement	31

LISTE DES PHOTOS

Photo1 : Kaolin d'Arivonimamo	7
Photo2 : Alumine	11
Photo3 : Silice.....	12
Photo4 : Tamis à mailles carrées	19
Photo5 : Photo de quelques échantillons.....	24
Photo6 : Photo de brique réfractaire avant et après cuisson.....	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description minéralogique de l'argile kaolinite.....	8
Tableau2 : Action de la chaleur sur le kaolin.....	9
Tableau3 : Les oxydes réfractaires	11
Tableau4 : Composition minéralogique des échantillons	23
Tableau5 : Essai au choc thermique de la brique réfractaires	30
Tableau6 : Essai aux produits chimiques	30
Tableau7 : Pourcentage en masse des matières premières	32

INTRODUCTION

La recherche scientifique joue un rôle très important dans la société et l'économie malgache. Plusieurs avantages sont créés par l'exploitation de matières premières à Madagascar. On sait que dans la plupart des sols, les argiles sont associées à des composés de nature complexe le plus souvent mal cristallisés de fer et d'aluminium. La présence de ces composés modifie considérablement les organisations et les propriétés qui en dépendent (G. BARBIER, 19381). Les industries de fabrication de la céramique, nucléaire, la métallurgie, etc., traitent leurs produits à haute température. Dans notre étude, nous nous intéressons à l'utilisation des argiles pour réaliser des réfractaires et des fours. Le présent mémoire s'intitule «VALORISATION DES ARGILES : ISOLATION THERMIQUE POUR LA REALISATION D'UN MINI-FOUR». Les argiles ont des propriétés spéciales comme la résistance aux réactions des produits chimiques, la résistance mécanique et la résistance aux chocs thermiques. A l'état naturel, elles donnent une pâte plastique qui peut être facilement moulée ou mise en forme. Après cuisson, elle donne un objet résistant et imperméable.

Le présent mémoire est divisé en deux parties.

Dans la première partie de l'étude, nous parlerons : des argiles, ses constituants minéralogiques et ses utilisations. Nous parlerons aussi des matériaux réfractaires.

La seconde partie renfermera les études expérimentales sur les argiles et la fabrication d'un mini-four à base d'argile. Nous trouverons aussi les différentes utilisations de matériaux céramiques, le choix des matières premières et la réalisation d'un mini-four. Elle résume aussi les différents résultats expérimentaux obtenus lors de notre étude, les interprétations et la conclusion.

Partie 1 : RAPPELS BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre1 : LES ARGILES

I-1 : GENERALITES SUR LES ARGILES

I-1 -1 Définition [2]

Le critère physique le plus élémentaire est la dimension des particules constituant le sol. Les particules argileuses sont des phyllosilicates ou des silicates en feuillets sous forme de grains ayant une taille inférieure à $2\mu\text{m}$. Les argiles proviennent de la dégradation des roches silicatées comme les granites et l'érosion de l'écorce terrestre qui sont transportées par les cours d'eau.

Généralement, l'utilisation de la méthode de la diffraction de rayonnement X pour distinguer plusieurs types d'argiles d'après leur structure est le plus courant. Il y a plusieurs groupes ou classe de matériaux argileux. Les plus connus sont : les kaolinites, les illites, les smectites.

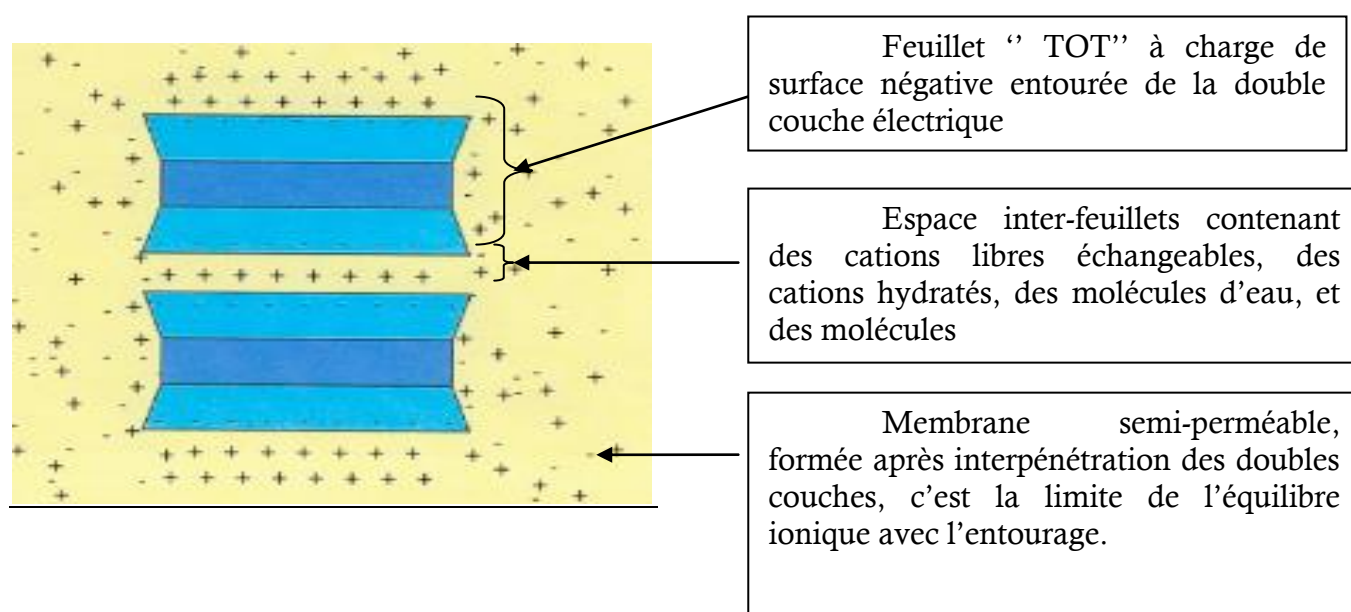


Figure1 : Représentation schématique de la cellule argileuse

I-1-2 Gisement d'argiles d'Arivonimamo

Ce gisement se situe dans la région Analamanga, district d'Arivonimamo, dans la Commune rurale d'ArivonimamoII, entre 20 à 25km au Nord-Ouest de la ville, la RN1 y traverse.

I-1-3 Groupe d'Argiles

I-1-3-1 Groupe des KAOLINITES [15]

La formule générale du groupe des kaolinites est $(\text{Si}_2)(\text{Al}_2)\text{O}_5(\text{OH})_4$. Les argiles sont dites kaolinites, s'ils ont un taux d'alumine supérieur à 37%. Le feuillet élémentaire est composé par l'alternance d'une couche de silice tétraédrique et d'une couche d'alumine octaédrique. La distance interatomique dans les deux structures est environ de 7\AA . La liaison entre la couche de silice et la couche d'alumine se fait par substitution de certains $(\text{OH})^-$ par des oxygènes O^{2-} . Dans les couches de l'alumine un ion Al^{3+} sur quatre est remplacé par un ion Mg^{2+} , c'est le défaut de Skotki. Le déficit de charge qui en résulte est compensé par les ions calcium Ca^{2+} qui assurent des liaisons assez fortes entre les feuillets. En général, les kaolins sont colorés de teinte blanche.

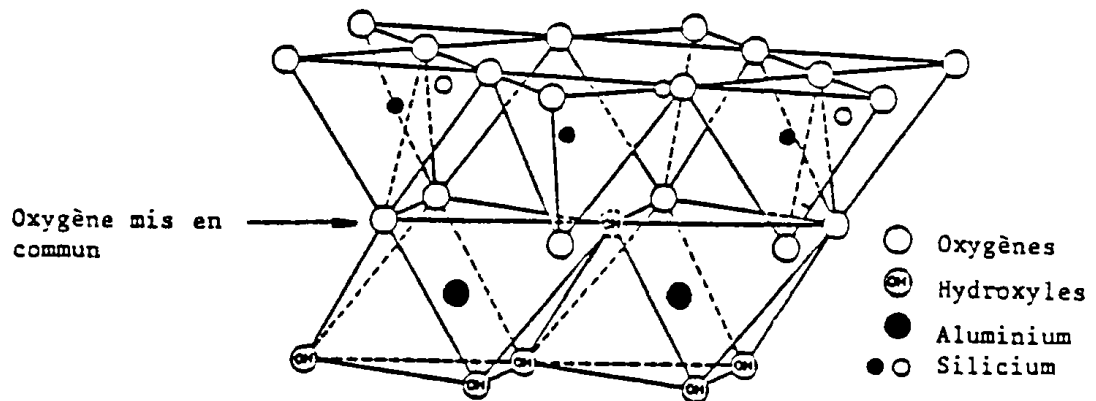


Figure2 : Représentation en perspective d'une structure de kaolinite

I-1-3-2 Groupe des ILLITES

Le groupe des illites ont la formule générale $[(\text{Si}_{4-n}\text{Al}_n\text{O}_{10})]\text{Al}_2\text{K}_n(\text{OH})_4$

Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine octaédrique entre deux couches de silice tétraédrique. Dans les couches de silice un ion Si^{4+} sur quatre est remplacé par un ion Al^{3+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par les ions potassium K^+ qui assurent des liaisons assez fortes entre les feuillets. La particule d'illite comporte une dizaine de feuillets qui lui donnent une épaisseur de 10 nm et une épaisseur de 0,3 mm. Le défaut ponctuel hexagonal du feuillet de silice correspond à l'atome K^+ qui en le comblant crée un lien fort entre les couches

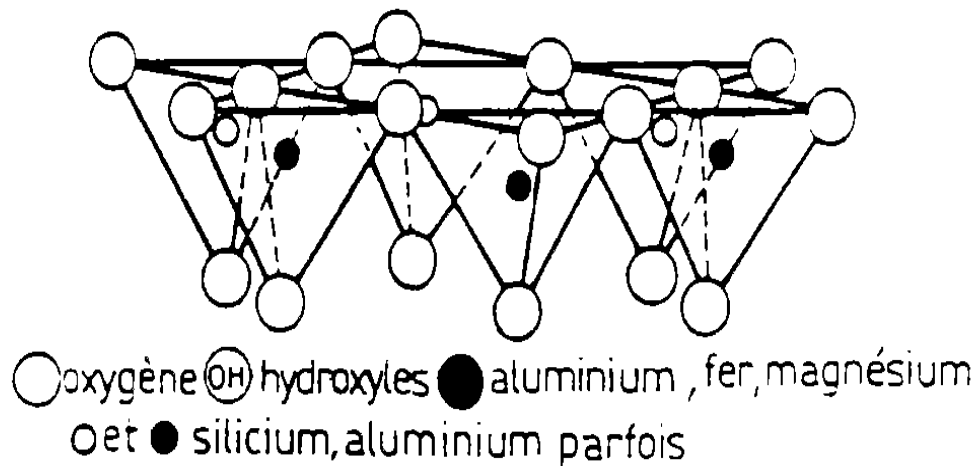


Figure3 :Représentation en perspective d'une structure d'illite

I-1-3-3 Groupe des SMECTITES

La formule générale du groupe des smectites est $(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{Al}_{5/3}\text{Mg}_{1/3})\text{Na}_{1/3}(\text{OH})_2$. Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine entre deux couches de silice, comme l'illite. Les smectites sont formés par l'altération d'une couche d'alumine et deux couches de silices. Dans les couches d'alumine un ion Al^{3+} sur quatre est remplacé par un ion Mg^{2+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par des ions Ca^{2+} ou par des ions Na^+ . La valence des ions sodium étant très faible que celle de calcium ; alors, les liaisons entre feuillets étant très faibles, ces argiles sont très sensibles à la teneur en eau et ont un fort potentiel de gonflement et de retrait.

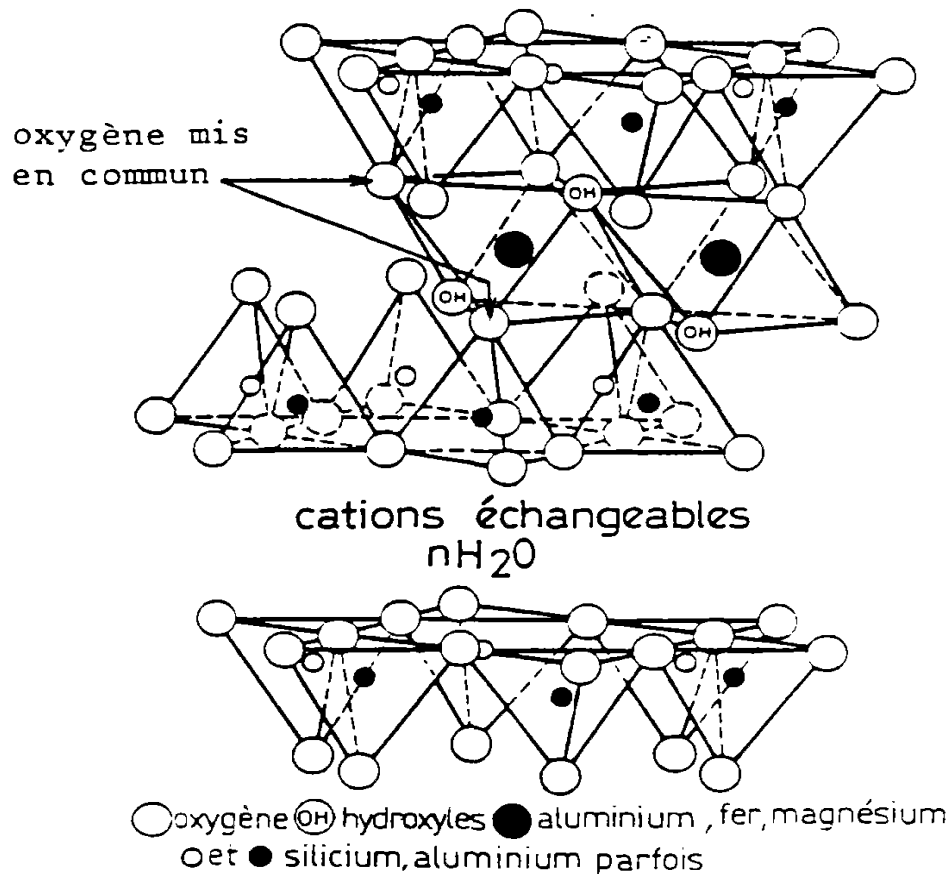


Figure4: Représentation en perspective d'une structure de smectite

I-1-4 Constituants minéralogiques de l'argile

L'argile est constituée d'alumine (Al_2O_3), de silice (SiO_2), de magnésie (MgO), de potassium (K) et d'oxyde d'hydrogène (OH).

I-2 : UTILISATION POSSIBLE DES ARGILES

L'argile est nécessaire pour la fabrication des objets utilisés dans la vie quotidienne. Elle est utilisée comme matériaux réfractaires, matériaux de construction, médicament, ...

I-2-1 Matériaux réfractaires

L'argile a des propriétés physico- chimiques très particulières. A une température au-dessous de $2054^{\circ}C$, sa propriété physique ne change rien ; grâce à cette propriété, l'homme utilise l'argile comme matière de base pour réaliser un four.

I-2-2 Matériaux de construction

L'argile est nécessaire pour la fabrication des objets utilisés dans la vie quotidienne. Les argiles sont classées en fonction de leur origine et de leur composition. À l'état naturel, l'argile est sous forme d'une pâte, facile à manipuler et à l'état sec, elle est sous forme

d'un solide roché et imperméable. L'homme utilise l'argile comme brique, matière première des arts, ciment, décoration, ...

I-2-3 Médicament

L'homme utilise l'argile comme matière première des produits cosmétiques, des médicaments et des produits sol-gel. Les argiles présentent une grande diversité de composition. Elles ont une bonne composition médicale.

Les hommes utilisent l'argile comme :

- Shampoing naturel ou pour protéger la peau aux rayons du soleil,
- Dentifrice
- Médicament qui calme la faim
- Médicament qui calme les diarrhées
- Huile de massage

Chapitre 2 : LE KAOLIN

II-1 : GENERALITE

L'argile Kaolinite est engendrée par la dégradation de roche granitique. L'un des matériaux de cette roche appelé feldspath se transforme en argile Kaolinite. En général, l'argile est une roche sédimentaire. La formule chimique de la Kaolinite est : 2SiO_2 , Al_2O_3 et $2\text{H}_2\text{O}$ et on peut écrire $\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2\text{O}_3(\text{OH})_4$. Elle est blanche quand elle est pure,

A l'état cristallin, la Kaolinite se présente sous la forme hexagonale de 0,05 à 0,8µm de diamètre. L'argile Kaolinite est clairement identifiable par sa couleur blanchâtre et sa minéralogie.



Photo1 : Kaolin d'Arivonimamo

II-2 : DESCRIPTION MINÉRALOGIQUE [13]

La description minéralogique de l'argile Kaolinite est le suivant :

	KAOLINITE
SiO ₂ (silice)	44,81 à 46,90
Al ₂ O ₃ (alumine)	37,02 à 37,82
Fe ₂ O ₃ (oxyde ferrique)	0,27 à 0,92
FeO (oxyde ferreux)	0,06 à 0,11
MgO (magnésie)	0,24 à 0,47
CaO (chaux)	0,13 à 0,52
K ₂ O (oxyde de Potassium)	0,49 à 1,49
Na ₂ O (oxyde de sodium)	0,05 à 0,44
TiO ₂ (oxyde de Titane)	0,18 à 1,26
H ₂ O ⁻	0,61 à 1,55
H ₂ O ⁺	12,18 à 14,27

Tableau1 : Description minéralogique de l'argile Kaolinite

II-3: PROPRIETES

II-3-1 Propriétés physico-chimiques [7]

Le Kaolin est une argile blanche, grâce à sa couleur. Il est constitué principalement d'alumine. Le point de fusion des Kaolins dépasse de 1800°C, ils sont très [réfractaires](#) . Les Kaolins purs sont totalement solubles dans HCl. Pour éliminer les impuretés d'origine organique, il faut faire la cuisson à 1200°C et l'extraction des résidus de fer par aimantation après broyage. Ils ont une faible [plasticité](#). Les feuillets Si et Al sont fortement liés du fait de l'oxygène qu'ils mettent en commun et forment la structure hexagonale remarquablement bien développées des Kaolins. La structure est stable : l'eau ne peut s'adsorber qu'autour des particules et cette argile n'est pas gonflante. L'étudegranulométrique des kaolins montre que le diamètre des particules qui les constituent est inférieur à 0,8µm.

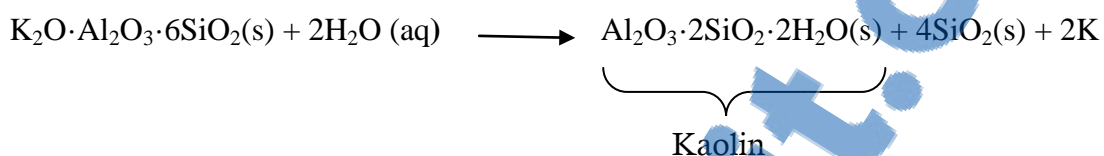
II-3-2 Propriété colloïdale

Les colloïdes sont des entités organiques ou inorganiques assez grandes pour avoir une structure et des propriétés supramoléculaires. Leur taille est fixée le plus souvent de manière arbitraire entre 1nm et 1µm. En général, les kaolins sont constitués de particules très petites de 0,8µm de diamètre c'est-à-dire que les Kaolin ont des propriétés colloïdales.

II-4 : MODE DE FORMATION ET CONSTITUTION DES KAOLINS

Le kaolin fait partie des roches sédimentaires sous l'influence de processus physique et chimique. En milieu acide, l'altération des feldspaths constituent le kaolin. Ces feldspaths sont des minéraux composés de silice en excédent et d'alumine liés d'alcalis et de calcium.

La réaction de la formation de la Kaolinite est la suivante :



Cette réaction se fait en milieu acide.

II-5 : ACTION DE LA CHALEUR SUR LA KAOLINITE

Plusieurs études ont été faites au sujet du comportement du kaolin au cours d'un traitement thermique. Les résultats sont dans le tableau suivant :

Domaine de température	Etape de la transformation du kaolin
Ambiante-110°C	Déshydratation de l'eau de gâchage
110°C-600°C	Déshydratation de l'eau de structure, Retrait du volume 10% à 20%
600°C-700°C	L'argile kaolinite se transforme en argile métakaolinite : $\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$
700°C-800°C	Affaiblissement de la structure du métakaolinite
800°C-900°C	La métakaolinite se transforme en alumine γ , spinel
900°C-1000°C	Cristallisation de la mullite $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
1000°C-1100°C	Cristallisation de la cristobalite
1100°C-1500°C	Développement des cristaux de mullite Développement des cristaux de cristobalite Développement de la phase vitreuse
1500°C-1720°C à 1730°C	Diminution de la porosité Retrait du volume 30%
1730°C-1785°C	Fusion du kaolin

Tableau2 : Action de la chaleur sur le kaolin

Chapitre3 : ETUDE DES MATERIAUX REFRACTAIRES

III -1 : GENERALITES

III-1-1 Définition des matériaux réfractaires

En général, les réfractaires sont constitués de carbures, d'oxydes à haute teneur en alumine et de matériaux céramiques réfractaires. Les oxydes les plus utilisés dans la production des réfractaires sont : l'alumine (Al_2O_3), la magnésie (MgO) et la silice (SiO_2).

Les réfractaires sont des matériaux de base dans la construction des fours et d'autres appareils de traitement à haute température. Ils sont donc utilisés dans les fours d'usines chimique et de raffinerie, les cokeries, les hauts fourneaux, les fours des industries verrerie et céramique, les fours élaborant les matériaux réfractaires eux même.

La résistance mécanique et l'isolation thermique des réfractaires dépendent des pourcentages des oxydes qui les constitue. Suivant ces applications, l'évolution de la composition peut se faire en tendant soit de la silice, soit de l'alumine, soit de la magnésie. Ces matériaux se présentent sous forme des briques. On peut utiliser aussi comme couche de grand épaisseur qui adhèrent des différentes parois internes des fours.

III-1-2 Propriétés des matériaux réfractaires

Un corps est dit réfractaire, si sa température de fusion est supérieure à 1200° . Il est capable d'accepter et de conserver la chaleur. A une température de fonctionnement élevée, il doit conserver ses caractéristiques:

- A la résistance aux réactions des produits chimiques ;
- A la résistance mécanique
- A la résistance aux chocs thermiques.

III-2 : LES OXYDES REFRACTAIRES

III-2-1-Définition

Les oxydes sont des corps résultant de la combinaison de l'oxygène avec un autre élément (métal). A haute température, ils présentent une résistance mécanique qui peut être supérieure à celle des métaux purs.

La combinaison des oxydes avec les métaux alcalins (lithium, sodium, potassium, rubidium, césium et francium) forme l'alcali et donne sa propriété commeliant.

oxydes	Formules chimiques
Alumine	Al_2O_3
Silice	SiO_2
Magnésie	MgO
Zircone	ZrO_2

Tableau3 : les oxydes réfractaires

III-2-2 Les oxydes

III -2-2-1 L'alumine

a) Généralités

L'alumine est une molécule composée de l'atome d'oxygène et de l'atome d'aluminium. Sa formule chimique est Al_2O_3 . L'alumine est l'un des constituants minéralogiques de l'argile. A l'état amorphe l'alumine est de couleur blanche et insoluble dans l'eau. La température de fusion de l'alumine est de 2050°C . Elle est un oxyde très stable c'est-à-dire qu'elle ne se décompose pas sous la chaleur. L'alumine a une bonne tenue de résistance mécanique, thermique et chimique aux températures élevées

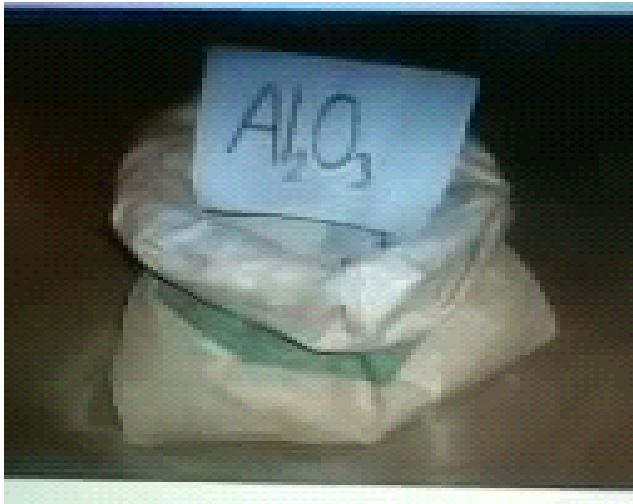


Photo2 : Sac d'Alumine

b) Utilisation

Compte tenu des propriétés exceptionnelles de dureté de l'alumine, on l'emploie comme :

- outils de coupe
- isolateur électrique
- élément de conception des céramiques
- élément de broyeur mécanique

II-2-2-2 La silice

a) Généralités [3]

La silice est une molécule composée de l'atome d'oxygène et de l'atome de silicium, de formule chimique SiO_2 . Elle est un oxyde acide qui réagit avec les oxydes basiques pour donner des silicates. La silice est insoluble dans les acides sauf l'acide fluorhydrique et soluble dans les solutions basiques de $\text{pH} > 9$. La silice est l'un des constituants essentiels

des roches magmatiques et métamorphiques. Elle se fusionne à la température de 1460°C. Elle a une bonne tenue de résistance mécanique

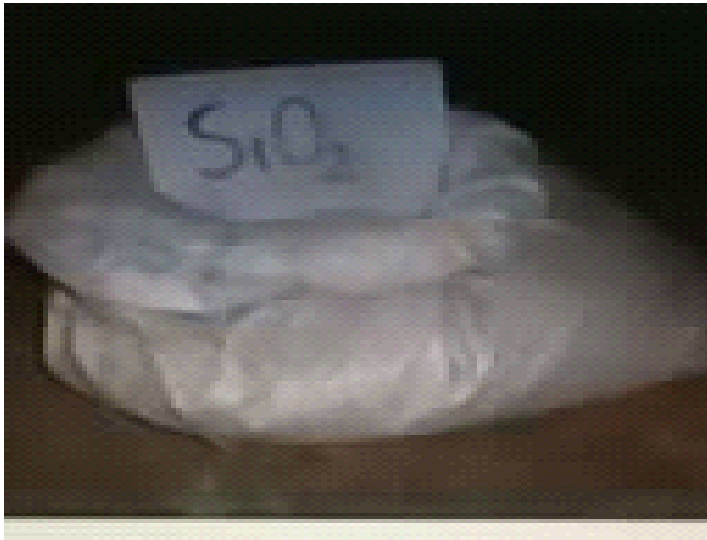


Photo3 : Sac de Silice

b) Utilisations

Grâce à sa propriété, on peut utiliser la silice comme :

- matériaux de constructions
- dans l'industrie de la verrerie
- isolant thermique
- creuset de fusion

III-2-2-3 : La magnésie

a) Généralité

La magnésie est une molécule composée de l'atome d'oxygène et de l'atome de magnésium, sa formule chimique est MgO . Elle est sous forme d'une poudre blanche. Elle est un oxyde très stable c'est-à-dire qu'elle ne se décompose pas sous la chaleur. La température de fusion de la magnésie est de 2800°C. L'alumine a une bonne tenue de résistance thermique.

b) Utilisation

Grâce à sa propriété, elle est utilisée dans les industries électriques, fours, on l'utilise aussi dans la fabrication des céramiques réfractaires, dans la fabrication des ciments réfractaires (ciment de magnésie)

III-2-2-4 : La zircone

a) Généralité

La zircone est une molécule composée d'atome d'oxygène et d'atome de zirconium, sa formule chimique est ZrO_2 . Elle est très stable chimiquement. Elle a une bonne résistance aux températures élevées, bonne résistance aux attaques des métaux.

b) Utilisations

On utilise la zircone comme :

- buse de coulée
- creuse
- revêtement antithermique

Chapitre 4 LES REFRACTAIRES

IV-1 : DEFINITION

C'est une substance ou un mélange de substances sous forme d'oxyde, soit naturel, soit artificiel. En général, sa température de fusion est supérieure à 1500°C.

A une température de fonctionnement élevée, il doit conserver ses propriétés physique et chimique, ne doit pas se ramollir ni se déformer. Il faut tenir compte que la température de fusion n'est pas la seule qualité requise à laquelle corresponde un matériau pour être utilisé comme réfractaire.

IV-2 : CLASSIFICATION DES REFRACTAIRES

Les réfractaires peuvent être classés suivant leur teneur en alumine, en silice et en magnésie, et aussi suivant leur température déterminée.

Selon la classification AFNOR (Association Française des Normes), on peut les classer en quatre catégories :

- Produits à base de silice (teneur en silice supérieur à 91 %, en alumine, inférieur à 3 %)
- Produits siliceux (teneur en silice entre 85 à 91 %, en alumine, supérieur à 5 %)
- Produits spéciaux
- Produits à base d'argile

IV-3 : CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES PRODUITS REFRACTAIRES

Les produits réfractaires sont caractérisés par leurs propriétés spécifiques notamment :

- _ les caractéristiques physico-chimiques
- _ les caractéristiques mécaniques à froid et à chaud

La connaissance de ces caractéristiques est importante dans l'étude des produits réfractaires.

IV-3-1 Caractéristiques physico-chimiques [11]

Elle comprend :

_ La composition chimique des matières premières : une analyse chimique de quelques échantillons des argiles a été faite au Laboratoire National de Travaux Publics et du Bâtiment.

_ La densité : la détermination de la densité des particules solides consiste à mesurer le poids et le volume des grains solides dans une prise d'échantillon et à en déterminer le rapport. Dans l'étude des réfractaires, il y a deux catégories de densité: densité absolue qui est le rapport de masse d'une prise d'échantillon par son volume absolu et densité apparente qui est le rapport de la masse de l'éprouvette par son volume apparent.

_ La porosité : En général, une porosité ne dépassant pas 12% est acceptable, mais une porosité pouvant aller jusqu'à 20% est à admettre pour les briques réfractaires employées à l'intérieur des fours

IV-3-2 Caractéristiques mécaniques à froid et à chaud

Les caractéristiques mécaniques des réfractaires dépendent de la formation des joints des grains après cuisson. Pour une brique réfractaire, si la cuisson a été bien faite à température convenable, sa résistance à la compression est de l'ordre de 40 bar. Ainsi, c'est la charge limitée par unité de surface à une température donnée à laquelle un produit réfractaire peut résister sans s'écraser. C'est la charge limitée par unité de section à une température donnée à laquelle un produit réfractaire peut résister sans rupture. La résistance au choc est repérée par le nombre de coups nécessaires pour obtenir la rupture de l'éprouvette. Elle est mesurée à l'aide d'un mouton de 4.5kg tombant en chute libre d'une hauteur de 1m sur des éprouvettes de 4 cm d'arête ^[12].

La résistance à l'usure est la résistance des matériaux à l'abrasion en surface provoquée par l'action mécanique d'un solide.

IV-4 : PRINCIPE DE FABRICATION DES PRODUITS REFRACTAIRES EN KAOLIN

Généralement, l'étape de fabrication des produits réfractaires en Kaolin est la suivante :

IV-4-1 Broyage

On utilise un broyeur à billes, cette méthode permet d'obtenir une répartition homogène des grains de dimensions différentes.

IV-4-2 Lavage

Cette opération a pour but d'éliminer les boues et les différentes racines végétales qui composent les matières premières.

IV-4-3 Homogénéisation

La substance obtenue à partir de broyage et de lavage n'est pas homogène, mais il est donc possible de faire un mélange homogène des matières à composer.

IV-4-4 Façonnage

Le produit homogénéisé est prêt à façonner dans une moule avec pressage

C'est l'opération d'agglomération de la pâte pour aboutir à une brique de forme géométrique bien définie.

IV-4-5 Séchage

On libère toute l'humidité qui reste dans le produit façonné. Le séchage peut être réalisé dans des chambres aérées ou dans des étuves à température hydrométrique de 60°C à 110°C. Le départ trop rapide de l'eau entraîne des fissures.

IV-4-5 Cuisson

La cuisson consiste à chauffer les matériaux en dessous de sa température de fusion afin de développer des liaisons entre grains.

IV-5 ORGANIGRAMME DE DEROULEMENT DE FABRICATION DE CERAMIQUES REFRACTAIRES

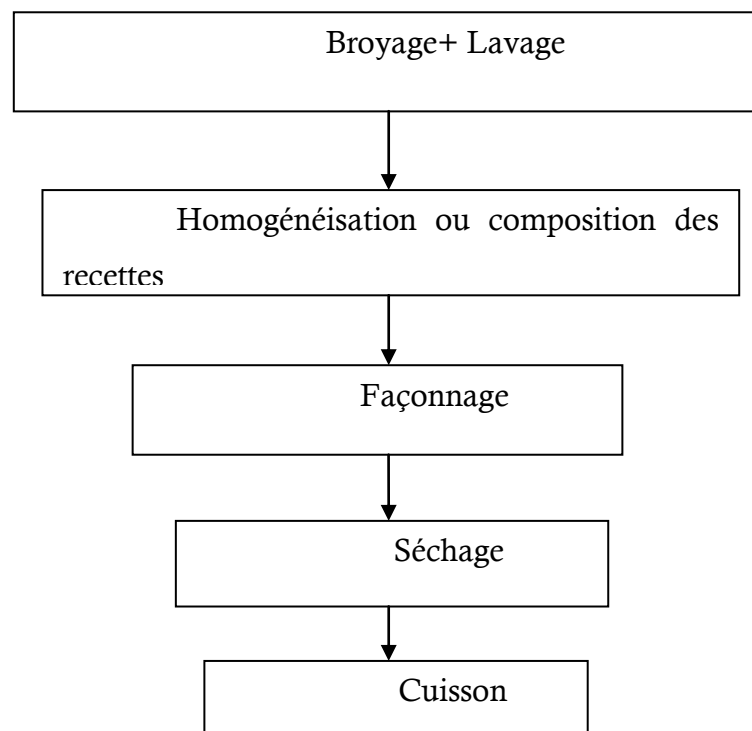


Figure5: Organigramme de déroulement de la fabrication de céramiquesréfractaires à froid

Chapitre 5: ISOLATION THERMIQUE

V-1 Définition

L'isolation thermique est une barrière à chaleur. Elle vise à conserver la chaleur ou la fraîcheur.

Une isolation est caractérisée par sa résistance thermique R . La conductivité thermique Δ caractérise le matériau :

- La conductivité thermique Δ , (exprime en W/m.K), représente la quantité d'énergie (en Joule) qui traverse en 1 seconde une paroi de 1m d'épaisseur lorsque la différence de température entre chaque côté est de 1 °C. Plus Δ est faible, plus le matériau est isolant.
- La résistance thermique R prend en compte l'épaisseur du matériau.

$$R = \frac{\text{Épaisseur}}{\Delta}$$

Plus R est élevée, plus l'isolation est efficace.

V-2 L'isolant thermique

Un isolant thermique est un matériau qui permet d'empêcher la chaleur ou le froid de s'échapper d'une enceinte close.

L'isolation thermique permet de minimiser la consommation d'énergie nécessaire à maintenir la température requise.

Les isolants thermiques sont essentiellement caractérisés par leur résistance thermique et leur inertie thermique. Ils permettent d'éviter les déperditions ainsi que le phénomène de pont thermique.

Partie 2 : ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre 1 : LES MATERIAUX CERAMIQUES

Dans ce chapitre, nous parlerons des différents processus d'élaboration des produits réfractaires des différentes parois de notre fourneau.

I-1 : FABRICATION DES PRODUITS CERAMIQUES

Plusieurs manipulations ont été faites pour avoir ces produits céramiques, en variant le dosage des ingrédients du mélange et encore en ajoutant ou en éliminant d'autres éléments. Dans cette étude, on fait la production par l'utilisation d'une pâte de l'argile.

I-2 : PRODUCTION DES REFRACTAIRES

I-2-1 Principe

Cette méthode consiste à la production des matériaux réfractaires à une température proche de la température ambiante. On utilise le gel de kaolin dans la fabrication à froid des céramiques réfractaires. Le gel est une substance colloïdale ayant une propriété physique visqueuse à l'état humide et compacte à l'état sec.

I-2-2 Technique de fabrication

Tous les travaux de fabrication sont manuels.

I-2-3 Influence de l'oxyde dans la fabrication

Le gel joue un rôle très important dans cette manipulation. Il est utilisé comme joint ou agglomérant des charges des différents oxydes. En général, les oxydes ont une bonne teneur en résistance mécanique et résistent à de forts chocs thermiques. Pour ces caractéristiques, les oxydes sont les matières premières de base pour la fabrication des céramiques réfractaires.

I-3 : PROCESSUS DE FABRICATION DE CERAMIQUES REFRACTAIRES

Il y a des étapes à suivre dans la fabrication de céramiques réfractaires :

- La composition des recettes
- L'hydrolyse
- Le façonnage
- La séchage
- La cuisson

Chapitre 2 : CHOIX DES MATIERES PREMIERES ET CARACTERISATIONS

II-1 : STOCKAGE DES MATIERES PREMIERES

Avant la manipulation, toutes les matières premières sont près de l'endroit où l'on fabrique les matériaux réfractaires. Ces sont les argiles kaolinites, latérite, dolomie, silice, etc.

II-2 : TRAITEMENT DES MATIERES PREMIERES DE BASE

Les matières premières sont préparées selon les besoins en suivant les opérations à faire.

II-2-1 Analyse granulométrique

Il y a deux méthodes d'analyse granulométrique :

Analyse granulométrique par tamisage

Analyse granulométrique par sédimentométrie

Principe de l'essai

A cause de l'appareillage, on insiste à l'analyse granulométrique par tamisage. Plusieurs essais ont été faits sur l'analyse granulométrique. L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis à mailles carrées, un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les ouvertures des mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction des dimensions des grains et de la précision attendue.

Les masses sèches des différents refus, ou celles des différents tamisats, sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous une forme graphique.

Appareillage

Les tamis utilisés ont des ouvertures conformes à la norme NF. Parmi les tamis définis dans cette norme, on utilise généralement les tamis à mailles carrées suivants (figure1), donnés par la norme NF P18-304



Photo4 : Tamis à mailles carrées

Préparation de l'échantillon pour les essais

On pèse des échantillons de 1kg par portion et on ajoute un peu d'eau pour fixer les fines si les matériaux sont trop secs.

Après pesée, le matériau est trempé, préalablement à l'eau pendant au minimum 12 heures. L'échantillon humide et les eaux de trempage sont versés sur un tamis de décharge protégeant le tamis de lavage. La maille du tamis de lavage correspond à la plus petite de la colonne utilisée lors du tamisage. On veillera à ce que l'eau ne déborde pas du tamis de lavage.

On considère que le matériau est correctement lavé lorsque l'eau s'écoulant sous le tamis de lavage est claire. Le tamisat est récupéré pour d'autre essai. Le refus est récupéré et séché jusqu'à sa masse constante.

Tamisage et pesée du refus

On verse le matériau lavé et séché dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis en les classant de haut en bas dans l'ordre d'ouverture de maille décroissante. On agite, puis on prend un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle. On agite chaque tamis en donnant à la main des coups secs et réguliers sur la monture. D'une manière générale, on peut considérer qu'un tamisage est terminé lorsque le refus ne se modifie pas de plus de 1% en une minute de tamisage.

On verse le tamisat recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur et on pèse le refus du tamis ayant la plus grande maille.

Les résultats obtenus sont représentées dans les graphes suivants :

Echantillon N°1 : Argile-limono-sableuse marron jaunâtre

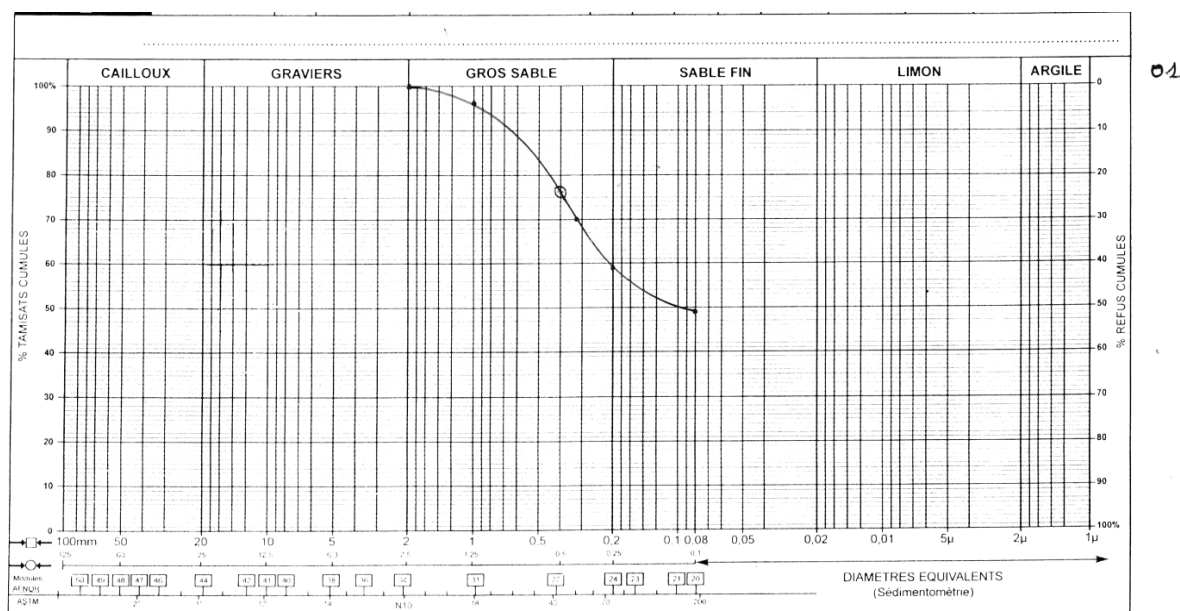


Figure6:Représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°1

Echantillon N°2 : Argile-kaolinite blanche

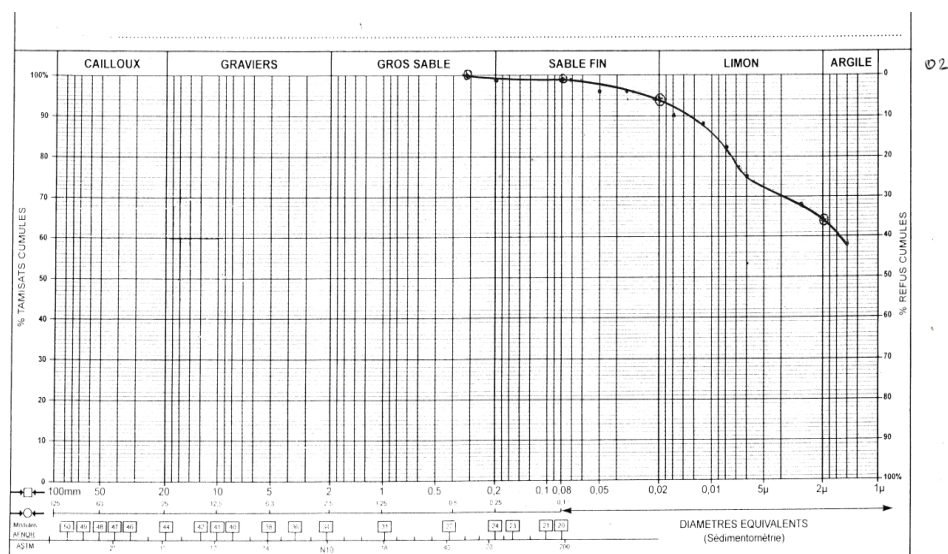


Figure7 : Représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°2

Echantillon N°3 : Argile-sableuse blanche

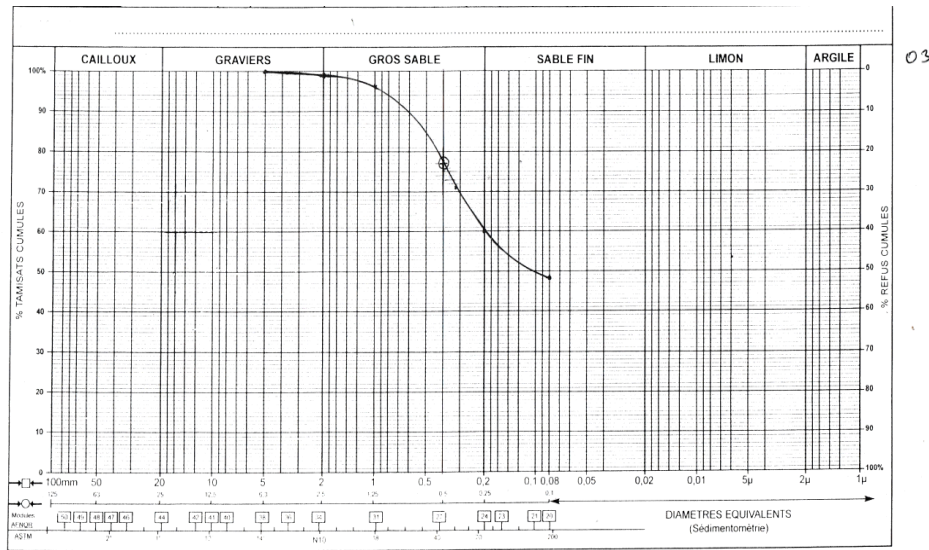


Figure8 : Représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°3

Echantillon N°4 : Argile- limoneuse jaune blanchâtre

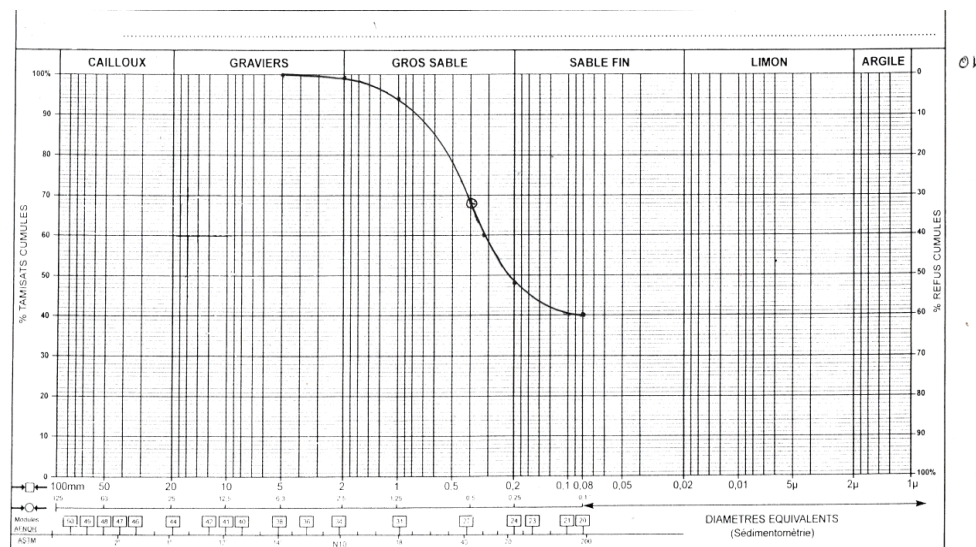


Figure9 : Représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°4

Echantillon N°5 : sableuse très micacée grise blanchâtre

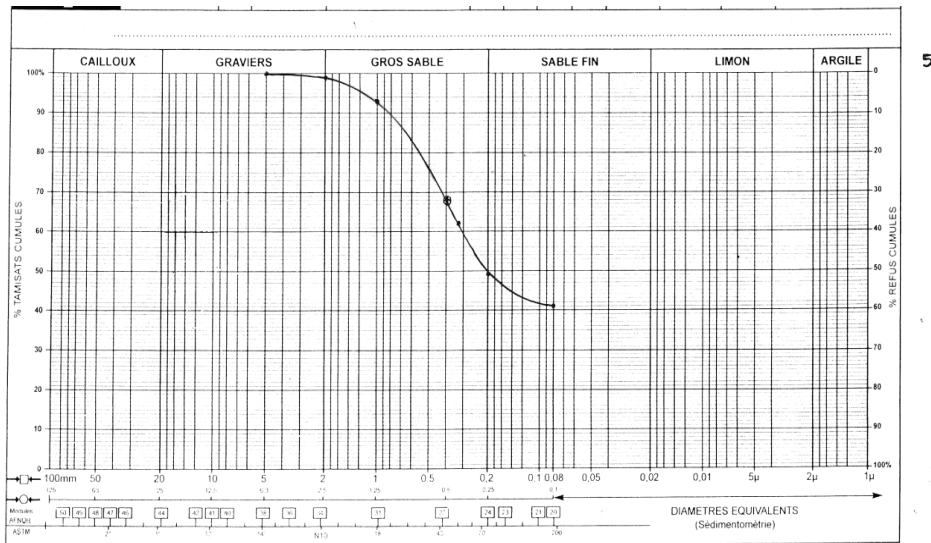


Figure10 : Représentation graphique des résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon N°5

Observation et interprétation

L'analyse granulométrique nous montre que la majeure partie des particules dans les échantillons est formée par des fines. Nous avons vu dans les graphes ci-dessus que les échantillons N° 1, 3, 4 et 5 ont des teneurs en sable très élevées, et l'échantillon N°2 est constitué par des sables fines, limon et des argiles. La granulométrie des matières premières a un effet sur les caractéristiques physiques des réfractaires, notamment la porosité. Ce qui implique une influence sur d'autres caractéristiques telle que la résistance à la compression et la conductivité thermique.

II-2-2 Analyse chimique

L'analyse chimique a pour but d'identifier les éléments constitutants des argiles.

Cette analyse est divisée en cinq manipulations :

- Détermination de la perte au feu

Cette manipulation consiste à déterminer la perte au feu à 975 °C dans le liant hydraulique.

- Détermination des résidus insolubles dans l'acide chlorhydrique

Cette manipulation a pour but de déterminer la teneur en résidus insolubles dans l'acide chlorhydrique. L'essai consiste à déterminer la teneur en oxyde de fer (Fe_2O_3) dans le liant hydraulique

- Détermination de l'oxyde de fer et de silice

Cette manipulation consiste à déterminer la teneur en oxyde de fer (Fe_2O_3) et la teneur en silice (SiO_2) dans le liant hydraulique

- Détermination de l'oxyde de fer et l'alumine

Cette manipulation a pour but de déterminer la teneur en alumine (Al_2O_3) et de l'oxyde de fer (Fe_2O_3)

- Détermination du sulfate

Cette manipulation consiste à déterminer la teneur en sulfate (SO_3^{2-}) dans le liant hydraulique

Les résultats de l'analyse sont représentés dans le tableau suivant :

ECHANTILLON N°	01	02	03	04	05
Nature visuelle	Argile-limono-sableuse marron jaunâtre	Argile-kaolinite blanche	Argile-sableuse blanche	Argile-limoneuse jaune blanchâtre	Argile-sableuse Très micacée Grise blanchâtre
Classification	Argile très plastique (At)	Argile moins plastique (Am)	Argile très plastique (At)	Argile très plastique (At)	Sable argileux (SA)
Perte au feu à 1050°C (%)	5,25	3,18	5,35	5,40	3,40
Résidu insoluble dans l' HCl (%)	62,46	13,61	59,24	60,30	75,92
SiO_2 (%)	5,34	44,85	12,32	7,70	9,90
Al_2O_3 (%)	12,25	37,42	7,55	8,84	6,86
Fe_2O_3 (%)	11,17	0,27	12,54	14,36	1,59
CaO total (%)	0,72	0,11	0,94	0,94	0,82
MgO (%)	0,94	0,32	1,13	1,05	0,94
SO_3 (%)	1,87	0,24	0,93	1,41	0,56
TOTAL (%)	100	100	100	100	100

Tableau4 : composition minéralogique des échantillons



Photo5 : photo de quelques échantillons

Observation et interprétation

D'après les analyses chimiques que nous avons effectuées, l'échantillon N° 2 a une faible teneur en oxyde fer qui est inférieur à 1% et une teneur en alumine variant entre 37% à 40% .Cette teneur élevée en alumine montre que, cet échantillon résiste aux températures élevées et correspond bien à la condition de la bonne réfractivité.

II-3 : MATIERES PREMIERES ADDITIVES

II-3-1 la silice

La silice est dure, chimiquement inerte, non combustible et présente une bonne résistance à la chaleur et aux chocs. Grace à ces propriétés, la silice a un rôle très importante dans la fabrication des réfractaires. Elle a aussi un caractère comme liant après la cuisson.

II-3-2 Latérite

Pour augmenter la plasticité du kaolin, on ajoute quelque poudre de latérite. La latérite a une teneur en hydroxyde de fer très élevée à l'état naturel qui durcit les produits réfractaires.

II-3-3 Dolomie

La dolomie a une teneur en magnésie très élevé. L'ion hydroxyle de l'hydroxyde de fer et la magnésie forme une liaison très stable d'après la réaction suivante :



Cette réaction se fait en milieu acide

II-4 : PREPARATION DU MELANGE

II-4-1 Mélange

C'est la première étape de la préparation d'une pâte réfractaire. Dans notre étude, les matières premières utilisées sont : le kaolin, la silice, dolomie, la latérite et l'eau.

II-4-2 Dosage pour la fabrication des briques réfractaires

D'après des études bibliographiques, plusieurs essais ont été faits et en fin, on a les compositions du mélange suivant :

10kg de kaolin

4kg de latérite

1/2kg de la silice

1/2kg de dolomie

Chapitre 3 : REALISATION D'UN MINI-FOUR

III-1 : PROCESSUS DE FABRICATION

La fabrication d'un mini-four est divisée en sept grandes étapes :

III-1-1 La composition des recettes

Cette opération consiste en la synthèse d'oxydes complexes par hydrolyse

III-1-2 L'hydrolyse

Cette opération a pour but de décomposer le produit obtenu par la synthèse avec de l'eau. Cette opération se fait dans une cuvette pendant 2 heures à fin d'avoir une pâte bien manipulable. L'hydrolyse est la base du procédé sol gel.

III-1-3 L'homogénéisation

L'homogénéisation est une étape très importante pour la préparation de produit réfractaire. La substance obtenue à partir de la synthèse et de l'hydrolyse est soluble dans des solvants usuels. Il est donc possible de faire un mélange homogène des matières à composer.

III-1-4 Le façonnage

C'est la mise en forme d'un mini-four.

Premièrement, on prépare cinq plaquettes dont deux plaques carrées de 20cm de côté et de 1,5cm d'épaisseur ; et trois plaques rectangulaires de 24cm de longueur, 20cm de largeur et 1,5cm d'épaisseur. Après, on va les regrouper à l'aide d'une colle de gel de kaolin, latérite et de dolomie pour avoir une brique réfractaire sous la forme d'un boîtier ouvert comme le schéma suivant :

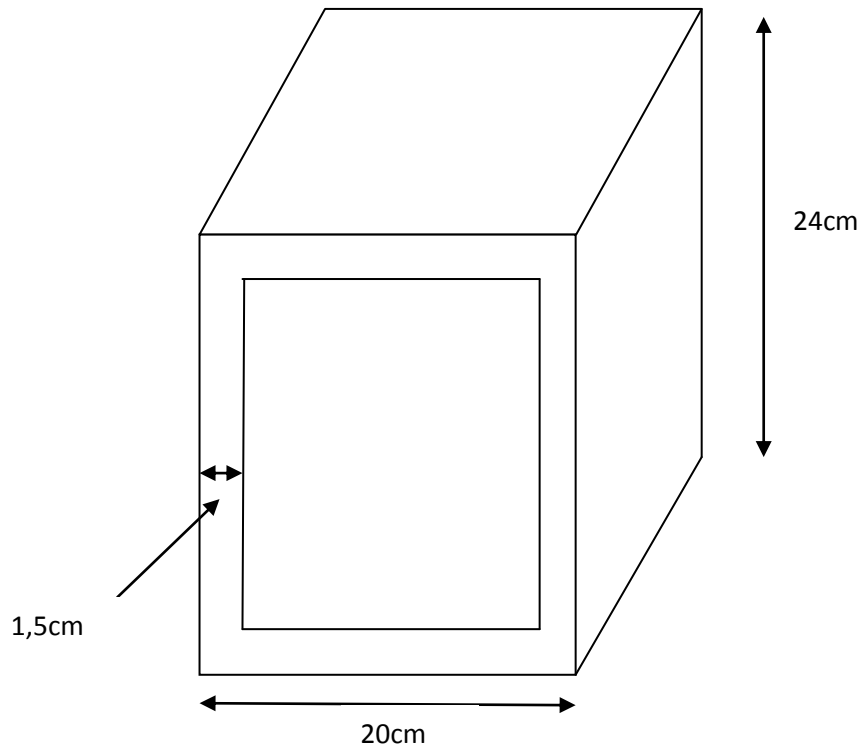


Figure11 : Représentation en perspective du boîtier réfractaire

Et enfin on va le poser dans un endroit sec pour le séchage.

III-1-5 Le séchage

L'argile contenant de l'eau à la carrière est celle qui a été rajoutée au moment de la préparation et de la fabrication de pâte. Pour aller à l'étape suivante (cuisson), il faut sécher le produit.

Le séchage est pratiqué à l'abri de la lumière mais à l'air libre pour éviter le départ trop rapide de l'eau qui peut entraîner des fissures. Le séchage dure 6 jours dans un endroit sec.

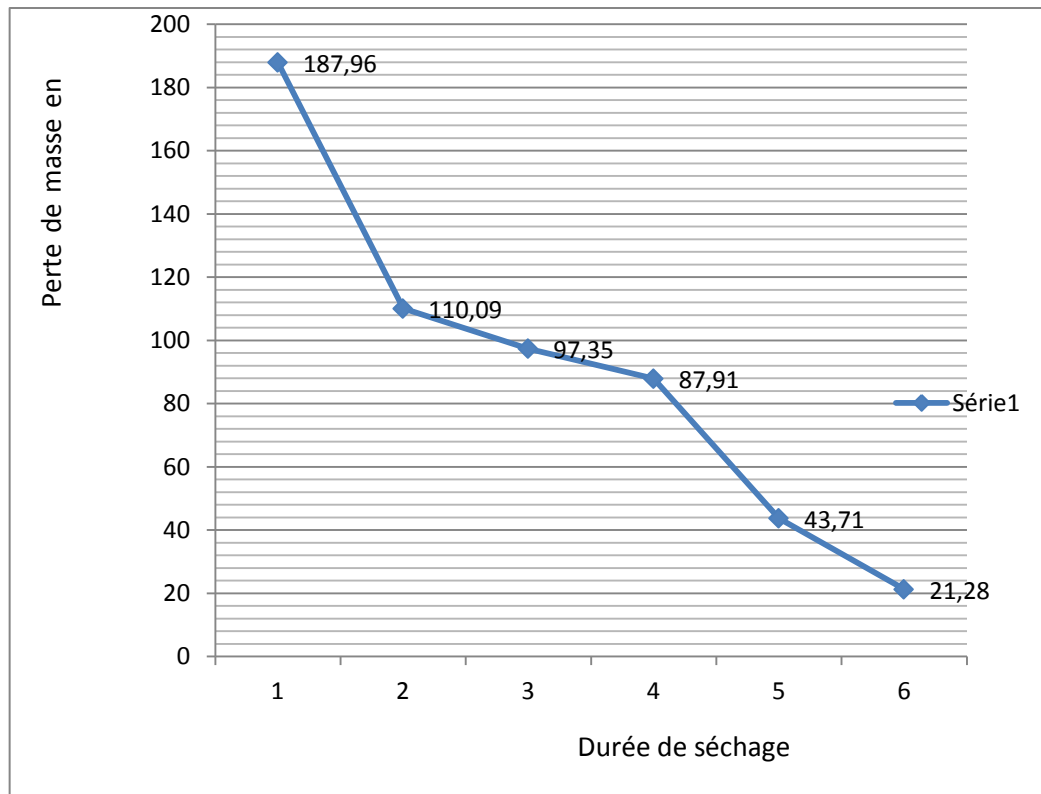


Figure12 : courbe de séchage

L'élimination des eaux interstitielles qui remplit les espaces libres entre les particules et les pores, laisse des vides. Donc il y a rapprochement des particules qui entraîne le retrait. Nous avons ici une courbe décroissante c'est-à-dire que si la durée de séchage augmente, le retrait volumique et massique est faible.

III-1-6 La cuisson

La cuisson est la phase la plus importante de la fabrication de tous les produits argileux.

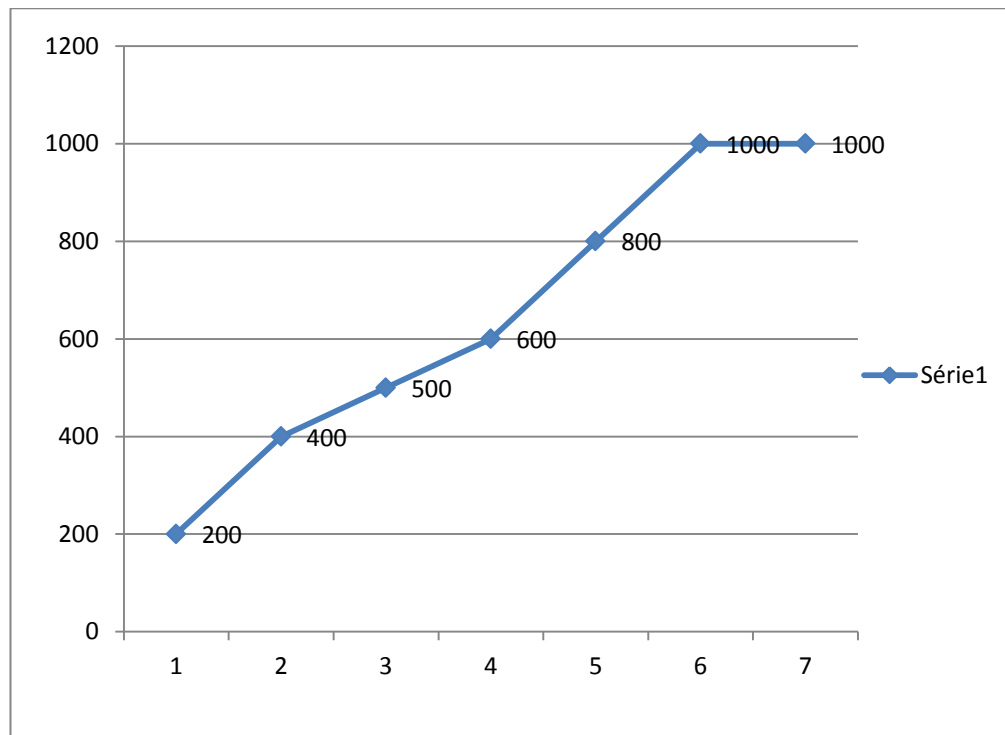


Figure13 : courbe de cuisson



Schéma avant cuisson

Schéma après cuisson

- Entre 200°C-600 °C

Cette phase correspond au séchage du four c'est-à-dire la phase de dégagement des eaux libres et bien les eaux interstitielles

Durée : environ 2 heures

- Entre 600°C-800°C

C'est la phase de petit feu, cette phase doit être lente.

- Entre 800°C-1000°C

C'est la phase d'initiation de la formation des joints de grain.

Durée : environ 2 heures

III-2 : FINITION DE LA FABRICATION

La réalisation du mini-four est terminée après l'installation des matériaux d'électrification comme la résistance et les fils conductibles ; la décoloration et l'emballage de réfractaire par de poudre de kaolin et de cendre de charbon. Enfin, on les enveloppe avec du fer.

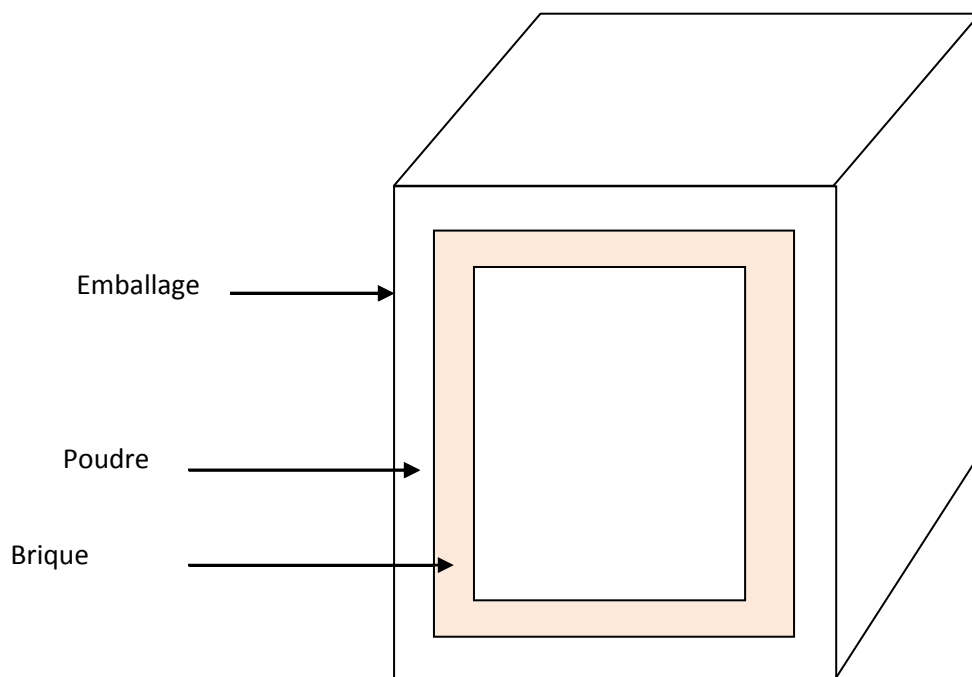


Figure14 : Représentation en perspective d'un mini-four

Chapitre 4: ESSAIS ET MESURE DE QUELQUES PROPRIETES DU MINI-FOUR

IV-1 : ESSAI MECANIQUE

Dans ce paragraphe, c'est la résistance de l'échantillon au choc mécanique qui nous intéresse. La résistance mécanique du four dépend des compositions de la brique réfractaire et de leur plasticité.

IV-2 : ESSAI AU CHOC THERMIQUE

Lors des expériences au cours des essais au choc thermique de la brique réfractaire, les observations sont mentionnées dans le tableau ci-dessous

essai	observation
Chauffage à une $T^{\circ} < 350^{\circ}$	Sans effet
Chauffage à une $T^{\circ} < 500$	Sans effet
Chauffage à une $T^{\circ} < 700$	Sans effet
Chauffage à une $T^{\circ} < 900$	Sans effet
Refroidissement rapide à l'eau froide	Sans effet

Tableau5 : Essai au choc thermique de la brique réfractaire

IV-3 : ESSAIS AUX PRODUITS CHIMIQUES

On plonge dans deux éprouvettes contenant proportionnellement 20ml d'acide sulfurique et 20ml d'acide chlorhydrique une portion de 5g de brique réfractaire après cuisson. Les résultats sont dans le tableau suivant :

Substances chimiques	observation
H_2SO_4 très concentré	Sans effet
HCl très concentré	Sans effet

Tableau6: Essai aux produits chimiques

IV-4 : MESURE DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

IV-4-1 Objectif

La mesure a pour objectif de comprendre les applications des corps mauvais conducteur thermique et de déterminer la conductivité thermique de cet isolant.

IV-4-2 Méthodologie

On mesure la différence de température résultant du passage d'un flux thermique à travers l'échantillon du corps isolant (brique réfractaire). La conductivité thermique est déterminée par l'équation de FOURIER.

$$\Phi = \lambda \frac{\Delta T * S}{e} \quad [15]$$

Où $\Delta T = (T_2 - T_1)$; la différence de température à l'entrée et à la sortie de l'éprouvette exprimée en degré kelvin

e : l'épaisseur de la brique réfractaire exprimée en mètre (m) ;

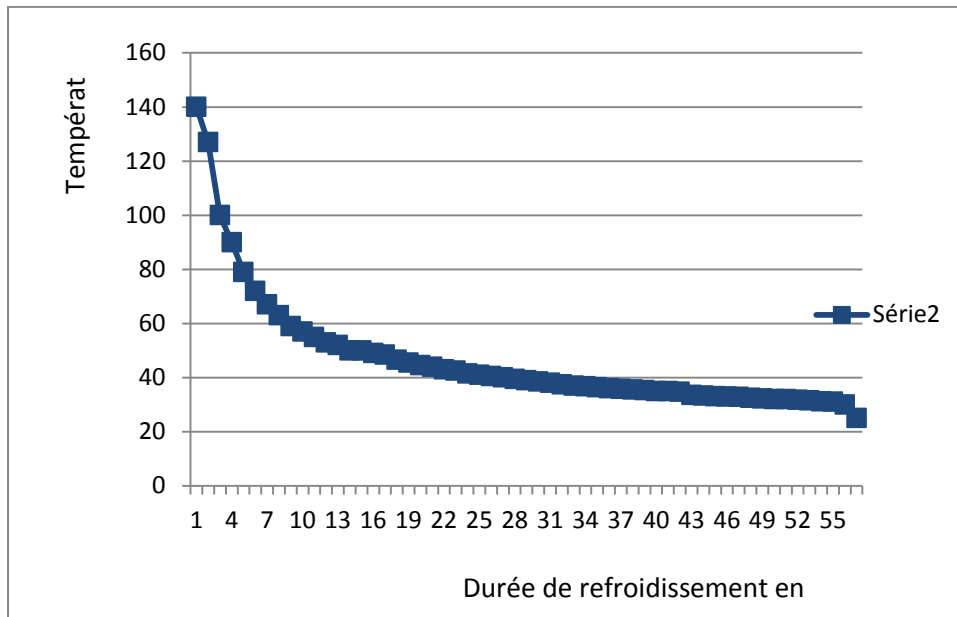
Φ : le flux thermique traversant l'éprouvette exprimé en watt (w) ;

λ : La conductivité thermique de l'échantillon exprimée en watt/mètre/degré kelvin (w/m/°K) ;

S : la surface traversée par le flux thermique exprimée en mètre carré m².

IV-5 : Mesure de la température du four

Courbe de refroidissement



Si le réfractaire commence à s'échauffer et atteint la température de 140°C, la descente de la température à l'ambiante dure 1h 40min

INTERPRETATION ET CONCLUSION

I- INTERPRETATION

Parmi les groupes des argiles cités dans la chapitre1 de la partie1, on utilise les groupes kaolinites pour la fabrication de nos matériaux céramiques réfractaires. La production des briques réfractaires a besoin de matières premières qui résistent à haute température. Ce sont généralement des oxydes (alumine, silice,...) auxquels on ajoute des matières complémentaires (latérite, dolomie, eau)qui sont des agglomérants ou liants. Les analyses physico-chimiques nous montrent que le kaolin a une teneur en alumine très élevée, c'est le premier critère pour un matériau réfractaire. Les pourcentages en masse des matières premières sont dans le tableau suivant :

Matières premières	Pourcentage en masse (%)
kaolin	66,6
latérite	26,6
silice	0,03
dolomie	0,03

Tableau6 : pourcentage en masse des matières premières

Ce tableau nous montre que le kaolin est la matière première de base de notre travail.

Pour la fabrication des briques réfractaires :

- Si on augmente le pourcentage en masse de la latérite dans la composition, après séchage, on a vu une fissure sur la brique réfractaire.
- Si on augmente le pourcentage en masse de la dolomie et de la silice, la brique réfractaire explose après une cuisson supérieure à 600°C.

La composition idéale est donc celle qui se trouve dans le tableau 6

II- CONCLUSION

D'après ce que nous avons vu, surtout dans cette dernière partie, nous pouvons dire que le kaolin est un bon isolant thermique. Il résiste à la température et à des produits chimiques. À Madagascar, la production des réfractaires est insuffisante. C'est pour cette raison qu'on a fait l'étude de ces matériaux. D'après l'étude expérimentale, nous allons retenir que les argiles sont un bon isolant. Grâce à ces propriétés, on peut les utiliser comme matériaux de construction, isolant thermique, céramiques. Le but de ce mémoire est d'étudier l'isolation thermique des argiles, de réaliser un mini-four pour le traitement thermique au laboratoire. Cette étude a également permis de montrer qu'on peut utiliser ce mélange de Kaolin, de latérite, de silice, de dolomie pour fabriquer des briques réfractaires.

Pour conclure, nous rappelons que notre objectif est de réaliser un matériau réfractaire à partir du kaolin. Ce type d'argile est constitué essentiellement d'alumine avec un taux de 37 à 40%. Cela favorise la bonne propriété comme isolant thermique de ce matériau. Donc le choix du kaolin comme matériau de base à la réalisation d'un mini-four est favorable.

Or, il est possible de modéliser cette synthèse au niveau industriel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]: A. Degiovanni, Diffusivité et méthode Flash. Revue Générale de Thermique Française 1977
- [2]: A. Hafsi, La cellule d'argile et la cellule humaine à la recherche d'un équilibre analogue
Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides /CRSTRA
Laboratoire des Travaux Publics du Sud, BP 277 RP, 30 000 Ouargla, Algérie.
E-mail adresse : ahafsi@hotmail.com
- [3]: ChahidiElouazzani D., Caractérisation physico-chimique et valorisation en bâtiment et travaux publics des cendres issues de l'incinération des boues de papeterie, thèse de Doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.
- [4]: F. Garcia, Synthèse hydrothermale de zircone colloïdale : Etude des transformations hydrothermales par Analyse Calorimétrique Différentielle, Projet de fin d'études, Ecole Nationale Supérieure de Céramique Industrielle, 2007
- [5] : F. Bennadji-Gridi, Composites biomimétiques: Etude d'une méthode de préparation de nacre synthétique à partir de plaquettes d'argiles, Rapport DEA, 2004
- [6] HERIJAONA L. N, Etude et conception d'un mini four sidérurgique, Mémoire de fin d'étude 1999.
- [7] J. Hladik, Métrologie des propriétés thermo physiques des matériaux, édition Masson, 1990
- [8] Meriam El Ouahabi, Valorisation industrielle et artisanale des argiles du Maroc, thèse de Doctorat, Université de Liège, 2013
- [9] : N. S. Soro, Influence des ions fer sur les transformations thermiques de la kaolinite, thèse de l'université de Limoges, 2003
- [10] Nadia El YAKOUBI, Potentialités d'utilisation des argiles dans l'industrie céramique, thèse de Doctorat, 2006
- [11]: O. Knacke, O. Kubaschewski and K. Hesselmann, Thermal chemical properties of inorganic substances (2nd ed.). Springer-Verlag, Berlin, 1976
- [12]: Oumaïma IBEN HALIMA, Propriétés physiques du sol, Projet ACLIMAS, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat, 2013

[13]Philippe Delanne, Bernardine Biot Kouao, Martin Aka Kouadio et Viviane FrogerFortaillier, Arts au féminin en Côte d'Ivoire, Le Cherche midi, 2009 (ISBN 9782749115276).

[14]: RAKOTONIAINA A., Etude des matériaux réfractaires, conception et réalisation d'un mini-four, Mémoire de fin d'étude, 2007.

[15]: RAZAFINDRABE S. H. , Etude sur l'utilisation de la Bauxite et du Kaolin pour la fabrication de réfractaire, Mémoire de fin d'étude, 2008.

[16]: S. Grandjean, Réponse thermique à l'échelle locale dans les matériaux céramiques, effet des pores et des joints de grains, Thèse de l'université de Limoges, France, 2002

ANNEXES

ANNEXES I

ANALYSES CHIMIQUES DES MATIERES PREMIERES

But : Obtenir un filtrat F contenant Fe, Al, Mg, Ti, Ca, Ni et un résidu R contenant de la silice

Mode opératoire :

- _ Attaquer dans un bêcher 1g d'échantillon avec 60ml de mélange triacide
- _ Chauffer progressivement jusqu'à fumé blanc, puis reprendre par HCl 10% (50ml)

_ Filtrer, laver à l'HCl 10%, puis à l'eau bouillante et on obtient :

- Le filtrat F contenant du Fe, Al, Mg, Ti, Ca, Ni
- Le résidu R contenant de la silice à peser

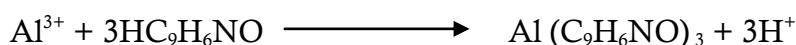
1. Détermination du pourcentage de SiO₂

- Prise : résidu R
- Mettre ce résidu dans un creuset de platine déjà taré de poids M₁
- Mettre dans un four à 1000°C pendant au moins 2h 30mn, le creuset contenant le résidu sur papier filtre
- Peser le. Et soit M₂ son poids
- Calcul : %SiO₂ = (M₂ - M₁)/100%

2. Détermination du pourcentage d'Al₂O₃

- Prise : 100ml de filtrat F dans un bêcher
- Ajouter 30ml de précipitant
- Chauffer le mélange jusqu'à l'entrée en ébullition
- Placer ensuite le bêcher contenant le mélange dans un bain marie bouillant
- Pour séparer le précipité de Al (C₉H₆NO)₃, ajouter goutte à goutte à la solution, une solution de 2N de CH₃COONH₄
- Laisser reposer la solution avec le précipité pendant 10 à 15mn dans le bain marie
- Filtrer ensuite à travers un creuset filtrant en verre fûté préalablement lavé
- Sécher à 130°C jusqu'à poids constant.

Lors de la précipitation, il se produit la réaction :



- Calcul : Soit m la masse d'Al (C₉H₆NO)₃ obtenue à partir de 100 ml de filtrat

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = 0.11 * m * F\%$$

3. Détermination du pourcentage de Fe₂O₃

- Prendre 100ml de filtrat de solution mère
- Diluer jusqu'à 200ml avec de l'eau distillée
- Faire agiter le mélange
- Prélever 20ml de cette solution diluée, et à l'aide d'une burette contenant de NH_4OH (50%), verser goutte à goutte jusqu'au virage ($\text{pH} = 4$)
- Ajouter rapidement 20ml de HCl 0.1N
- Ajouter 20ml d'eau oxygénée
- Titrer avec du permanganate 0.1N
- Calcul : Soit V en ml le volume versé de permanganate

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 400.10-3V$$

4. Détermination du pourcentage de TiO_2

Pour la détermination de $\% \text{TiO}_2$, on utilise le résultat de dosage de Fe_2O_3 et Al_2O_3 , on a :

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = \%(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - \%(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$$

5. Détermination du pourcentage de CaO

- Prise : filtrat F
- Chauffer le filtrat F jusqu'au début d'ébullition
- Ajouter 15ml de NH_4Cl 10% plus quelques gouttes de bleu de bromothymol, précipiter par l'ammoniaque concentré et puis filtrer
- On obtient le filtrat F' qui contient de Ca^{2+} et Mg^{2+} et un résidu R' qui contient le dépôt de Fe^{3+} , Ti^{4+} , Al^{3+}
- On reprend le résidu R' avec 100ml d'eau + HCl concentré et on ajoute 15ml de NH_4Cl à 10% et quelques gouttes de bleu de bromothymol
- Précipiter avec l'ammoniaque concentré jusqu'au virage de l'indicateur coloré et puis filtrer
- On obtient le filtrat F'' qui contient Mg^{2+} et Ca^{2+} et un résidu R'' qui contient Fe^{3+} , Ti^{4+} et Al^{3+}
- Réunir les filtrats F' et F'' dans un même bêcher et acidifier avec HCl concentré jusqu'à teinte jaune
- Chauffer jusqu'à 70 à 80°C et ajouter 25ml de solution d'oxalate d'ammonium saturée
- précipiter avec l'ammoniaque concentré et laisser reposer une nuit avant de le filtrer et on a R'''
- Le mélange de F' et F'' contient de Mg^{2+} et le résidu R''' contient le dépôt de précipité de Ca^{2+}

- Reprendre le résidu R''' avec H_2SO_4 10% et avec eau distillée et on ajoute 10ml de H_2SO_4 concentré et chauffer à 70 à 80°C

- On a dosé à chaud la solution avec KMnO_4 à 0.1N

- Résultat : V = volume de KMnO_4 trouvé en ml

$$\% \text{CaO} = 0.56V$$

6. Détermination du pourcentage de MgO

- Prise : Mélange de filtrat F' et F''

- Acidifier le mélange avec HCl concentré jusqu'à coloration jaune claire et ajouter 25ml de phosphate d'ammonium à 10%

- Précipiter à froid avec l'ammoniaque concentrée et laisser reposer une nuit et puis filtrer

- Prendre le résidu solide précipité de MgO

- Tarer et calciner un creuset porcelaine et soit M le poids trouvé

- Mettre le creuset et le papier filtre dans un four à 1000°C et peser. Et on a M'

$$\% \text{MgO} = 0.07244 (M' - M)$$

ANNEXE II

MESURE DE LA TENEUR EN EAU

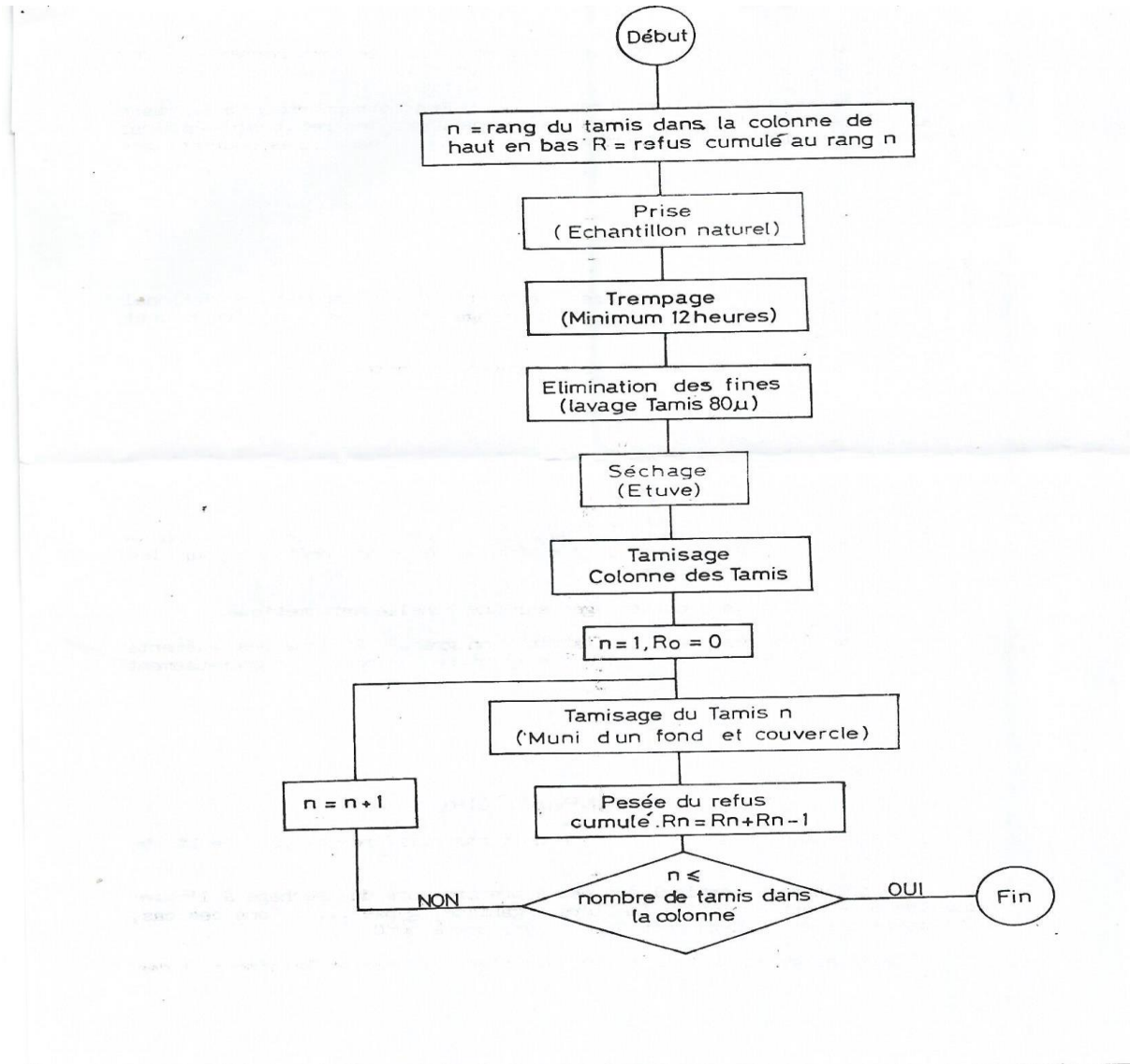
Les mesures de la teneur en eau des échantillons sont représentés dans le tableau suivant :

échantillons	1 Argile- limono- sableuse marron jaunâtre	2 Argile- kaolinite blanche	3 Argile- sableuse blanche	4 Argile- limoneuse jaune blanchâtre	5 Argile- sableuse Très micacée Grise blanchâtre
Poids de la tare(1)	29	32	32,5	32	32
Poids du matériau humide+tare(2)	149	142,5	281	157,5	146
Poids du matériau sec+tare(3)	113,5	124,2	182,5	119,5	109
Poids d'eau(4) (4)=(2)-(3)	35,5	18,3	98,5	38	37
Poids du matériau sec(5) (5)=(3)-(1)	84,5	92,2	150	87,5	77
Teneur en eau en % (6) (6)=[(4)/(5)]*100	42	19,85	65,7	43,4	48

Toutes les grandeurs sont exprimées en gramme (g)

ANNEXE III

ORGANIGRAMME DE DEROULEMENT D'UNE ANALYSE GRANULOMETRIQUE

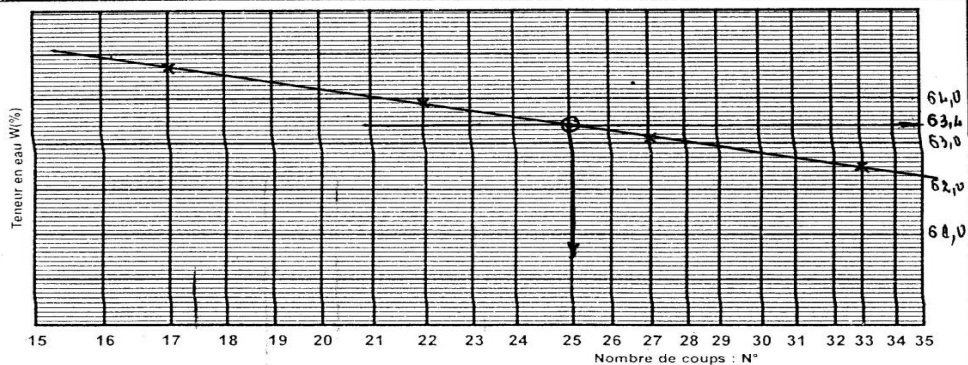


ANNEXE IV
LIMITES D'ATTERBERG

Echantillon N° 1 : Argile-limono-sableuse marron jaunâtre

1) LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	17		22		27		33			
Tare N°	122	86	133	15	58	33	127	46		
Poids tare (1)	15,72	13,73	16,34	18,38	14,72	11,72	15,02	16,17		
Poids total humide (2)	25,77	24,53	26,06	26,06	28,69	25,68	28,11	27,38		
Poids total sec (3)	21,82	20,29	22,27	22,29	22,06	21,44	23,07	23,07		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	3,95	4,24	3,79	3,77	6,63	4,24	5,04	4,31		
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	6,10	6,56	6,93	5,91	7,34	6,73	8,05	6,90		
Teneur en eau W% (4) / (5)	64,8	64,6	63,9	63,8	63,1	63,0	62,6	62,4		
Teneur en eau moyenne W%	64,7 %		63,9 %		63,1 %		62,5 %			



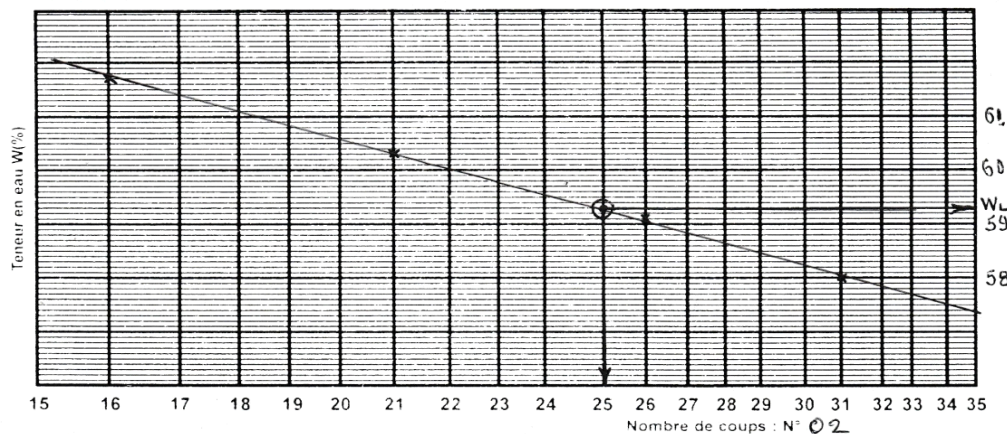
2) LIMITE DE PLASTICITE Wp			3) RESULTATS
Tare N°	131	115	LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 63,4 %
Poids tare (1)	16,13	17,10	
Poids total humide (2)	20,13	21,64	LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 30,4 %
Poids total sec (3)	19,20	20,58	
Poids d'eau (4) = 2 - 3	0,93	1,06	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 33,0 % (Ip = WL - Wp)
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	3,07	3,48	
Teneur en eau W% (4) / (5)	30,3	30,5	
Teneur en eau moyenne W%	30,4 %		

Echantillon N° 2 : Argile Kaolinite blanche

1) LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	16		21		26		31			
Tare N°	26	162	29	10	133	78	140	94		
Poids tare (1)	14,77	15,11	13,79	11,71	16,13	13,19	13,16	15,07		
Poids total humide (2)	28,12	25,25	24,65	23,62	27,60	25,29	25,89	22,58		
Poids total sec (3)	23,02	22,01	20,56	20,27	23,34	20,91	20,13	19,82		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	5,10	4,25	4,09	3,35	4,26	4,38	4,56	2,76		
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	8,25	6,90	6,77	5,56	7,21	7,12	7,87	4,75		
Teneur en eau W% (4) / (5)	61,8	61,6	60,4	60,2	59,1	59,0	57,9	58,1		
Teneur en eau moyenne W%	61,7 %		60,3 %		59,1 %		58,0 %			

2



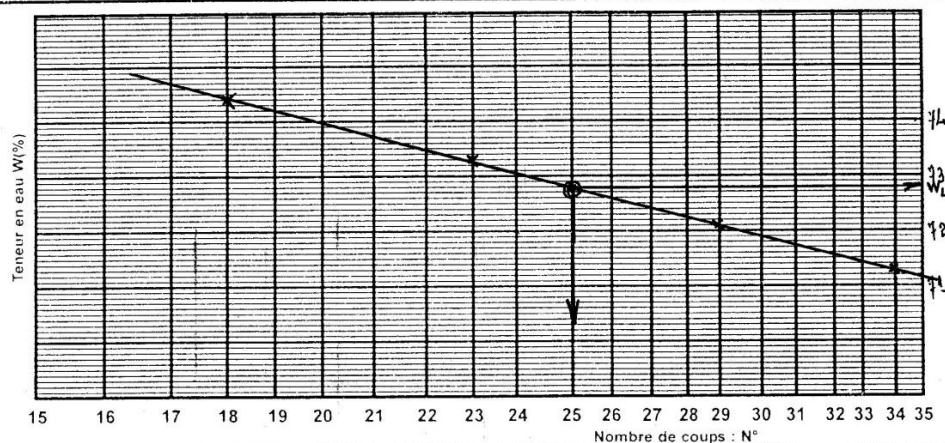
2) LIMITE DE PLASTICITE Wp			3) RESULTATS	
Tare N°	107	114	Teneur en eau W	3,6 %
Poids tare (1)	14,78	15,07	LIMITE DE LIQUIDITE (WL)	59,3 %
Poids total humide (2)	20,32	23,32	Indice de Consistance $I_c = \frac{w_L - w}{I_p}$	1,86
Poids total sec (3)	19,06	21,45	LIMITE DE PLASTICITE (Wp)	29,4 %
Poids d'eau (4) = 2 - 3	1,26	1,87	Indice de liquidité $I_L = \frac{w - w_p}{I_p}$	- 0,86
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	4,28	6,38	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 29,9 %	
Teneur en eau W% (4) / (5)	29,5	29,3	(Ip = WL - Wp)	
Teneur en eau moyenne W%	29,4 %		$I_c > 1$ ou $I_L < 0$, donc le sol est à l'état solide	

$$A_c = \frac{\text{Indice de Plasticité}}{\% \text{ éléments } < 2 \mu} = \frac{29,9}{58} = 0,5 \quad \text{C'est une kaolinite}$$

Echantillon N°3 : Argile-sableuse blanche

LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	18		23		29		34			
Tare N°	66	64	128	62	167	85	80	98		
Poids tare (1)	17,04	16,11	16,08	14,04	15,84	16,10	15,78	13,22		
Poids total humide (2)	26,46	28,33	28,37	31,36	24,13	25,47	27,67	27,46		
Poids total sec (3)	22,44	23,12	23,37	24,02	20,57	21,55	22,72	21,53		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	4,02	5,21	5,20	7,34	3,56	3,92	4,95	5,93		
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	5,40	7,01	7,09	10,01	4,93	5,45	6,94	8,31		
Teneur en eau W% (4) / (5)	74,5	74,3	73,3	73,3	72,2	72,0	71,3	71,4		
Teneur en eau moyenne W%	74,4 %		73,3 %		72,1 %		73,3 %			

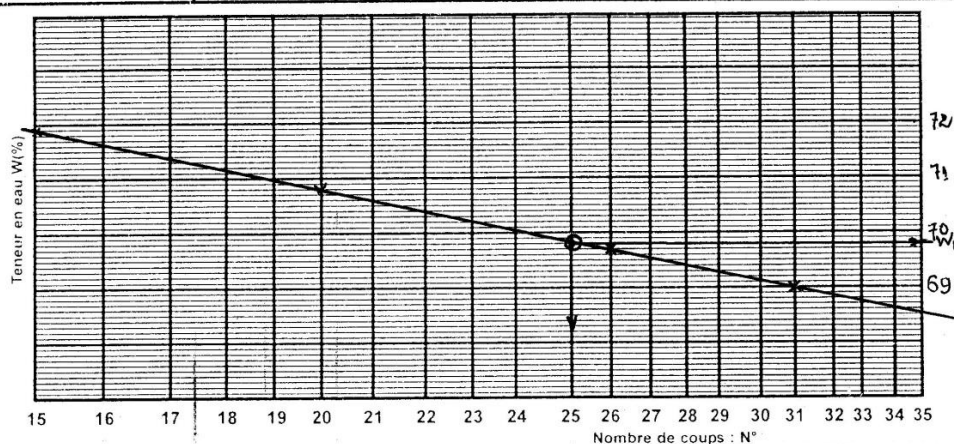


2) LIMITE DE PLASTICITE Wp		3) RESULTATS	
Tare N°	94	118	LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 72,8 %
Poids tare (1)	14,81	16,38	
Poids total humide (2)	19,00	20,72	LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 32,2 %
Poids total sec (3)	17,98	19,66	
Poids d'eau (4) = 2 - 3	1,02	1,06	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 40,6 % (Ip = WL - Wp)
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	3,17	3,28	
Teneur en eau W% (4) / (5)	32,2	32,3	
Teneur en eau moyenne W%	32,2 %		

Echantillon N°4 : Argile- limoneuse jaune blanchâtre

LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	15		20		26		31			
Tare N°	63	36	137	152	35	70	26	34		
Poids tare (1)	14,07	16,08	15,41	16,69	15,44	14,58	15,11	16,12		
Poids total humide (2)	24,87	25,53	23,04	24,45	26,15	22,50	26,28	27,38		
Poids total sec (3)	20,36	21,58	19,88	21,23	21,75	19,25	21,72	22,71		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	4,52	3,95	3,16	3,22	4,40	3,25	4,56	4,67		
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	6,29	5,50	4,47	4,54	6,31	4,67	6,61	6,72		
Teneur en eau W% (4) / (5)	72,0	71,8	70,7	70,9	69,8	69,6	69,0	69,0		
Teneur en eau moyenne W%	71,9%		70,8%		69,7%		69,0%			

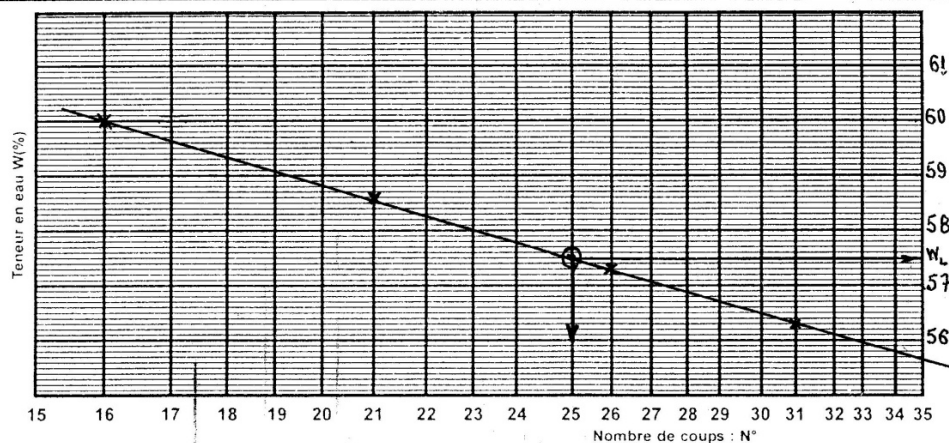


2) LIMITE DE PLASTICITE Wp			3) RESULTATS	
Tare N°	C0	17	LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 69,8%	
Poids tare (1)	13,30	14,08		
Poids total humide (2)	18,25	22,53	LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 31,9%	
Poids total sec (3)	17,05	20,49		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	1,20	2,04	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 37,9% (Ip = WL - Wp)	
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	3,75	6,41		
Teneur en eau W% (4) / (5)	32,0	31,8		
Teneur en eau moyenne W%	31,9%			

Echantillon N°5 : Argile-sableuse très micacée grise blanchâtre

LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	16		21		25		31			
Tare N°	98	176	128	182	112	78	147	69		
Poids tare (1)	13,22	14,88	15,28	16,21	15,11	13,47	15,02	16,07		
Poids total humide (2)	26,68	24,86	24,36	28,58	26,24	24,34	27,61	28,49		
Poids total sec (3)	24,63	24,12	24,01	22,98	22,18	20,39	23,07	24,02		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	5,05	3,74	3,35	4,55	4,06	3,95	4,54	4,47		
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	8,41	6,24	5,73	7,77	7,07	6,92	8,05	7,95		
Teneur en eau W% (4) / (5)	60,1	59,9	58,5	58,6	57,4	57,1	56,4	56,2		
Teneur en eau moyenne W%	60,0 %		58,6 %		57,3		56,3			



2) LIMITE DE PLASTICITE Wp		3) RESULTATS
Tare N°	122	44
Poids tare (1)	15,06	14,07
Poids total humide (2)	23,10	24,79
Poids total sec (3)	21,29	22,38
Poids d'eau (4) = 2 - 3	1,81	2,41
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	6,23	8,31
Teneur en eau W% (4) / (5)	29,0	29,0
Teneur en eau moyenne W%	29,0 %	
		LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 57,5 %
		LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 29,0 %
		INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 28,5 % (Ip = WL - Wp)

Résumé

Ce présent mémoire consiste à étudier l'isolation thermique des argiles puis à réaliser un mini-four.

Dans ce travail, nous avons en premier lieu parlé des argiles en vue de son utilisation et ses propriétés. La connaissance de toutes les propriétés et caractéristiques des argiles permet de les choisir avec soin. Vu le rôle important des matériaux d'isolation dans les constructions et dans certaines installations, nous avons étudié les matériaux de types réfractaires.

En second lieu, on a effectué des analyses physico-chimiques de différents types d'argiles et nous avons retenu que c'est le kaolin qui est le meilleur candidat à notre étude car après cuisson du mélange qui est composé de 66,6% en masse de kaolin, 26,6% en masse de latérite, 0,03% en masse de SiO_2 et 0,03% en masse de dolomie, c'est la composition qui répond à notre besoin. Grâce aux propriétés spéciales des argiles (le matériau résiste à la température et à l'attaque acide, il a une bonne plasticité), on les utilise comme matériaux céramiques réfractaires. Nous avons essayé, à travers ce travail, de mettre en évidence ces propriétés notamment l'isolation thermique des argiles en réalisant un mini-four.

Enfin, l'étude se termine par l'essai et la mesure de quelques propriétés du mini-four.

Mots clés : argiles, plasticité, isolation thermique

Abstract

That this submission is to study the thermal insulation of clay and then performing a mini-oven.

In this work, we first discussed the borers for its use and its properties. Knowledge of all the properties and characteristics of clays allows to chose them carefully. Given the important role of insulation materials in buildings and in some installations, we studied types of refractory materials.

Second, we performed physicochemical analyzes for different types of clays and we retained that kaolin is the best candidate for our study because after cooking the mixture which is composed of 66.6% in mass kaolin, 26.6% by weight of laterite, 0.03 mass% of SiO_2 and 0.03% by weight of dolomite is the best mixture. According to the special properties of the clay (the material is resistant to the temperature and acid attack, plasticity), it is used as a refractory ceramic material. We have tried, through this work, to highlight these properties including thermal insulation of clay by performing a mini-oven.

Finally, the study ends with the test and measurement of some properties of mini-oven.

Keywords: Clay, plasticity, thermal insulation

Titre : «VALORISATION DES ARGILES : ISOLATION THERMIQUE POUR LA REALISATION D'UN MINI-FOUR »

Nombre de pages :

Nombre de figures

Nombre de tableaux

Nombre de photos

NOM et PRENOM : RADOLALAINA Jean Fredy

E-mail : radolalainajeanfredy@yahoo.com

Tél : 0330666093

Résumé

Ce présent mémoire consiste à étudier l'isolation thermique des argiles puis à réaliser un mini-four.

Dans ce travail, nous avons en premier lieu parlé des argiles en vue de son utilisation et ses propriétés. La connaissance de toutes les propriétés et caractéristiques des argiles permet de les choisir avec soin. Vu le rôle important des matériaux d'isolation dans les constructions et dans certaines installations, nous avons étudié les matériaux de types réfractaires.

En second lieu, on a effectué des analyses physico-chimiques de différents types d'argiles et nous avons retenu que c'est le kaolin qui est le meilleur candidat à notre étude car après cuisson du mélange qui est composé de 66,6% en masse de kaolin, 26,6% en masse de latérite, 0,03% en masse de SiO_2 et 0,03% en masse de dolomie. Grâce aux propriétés spéciales des argiles (le matériau résiste à la température et l'attaque acide, plasticité), on les utilise comme matériaux céramiques réfractaires. Nous avons essayé, à travers ce travail, de mettre en évidence ces propriétés notamment l'isolation thermique des argiles en réalisant un mini-four.

Enfin, l'étude se termine par l'essai et la mesure des quelques propriétés du mini-four.

Mots clés : argiles, plasticité, isolation thermique

Abstract

That this submission is to study the thermal insulation of clay and then performing a mini-oven.

In this work, we first discussed the borers for its use and its properties. Knowledge of all the properties and characteristics of clays allows to choose them carefully. Given the important role of insulation materials in buildings and in some installations, we studied types of refractory materials.

Second, we performed physicochemical analyzes différents types of clays and we retained it's kaolin is the best candidate for our study because after cooking the mixture which is composed of 66.6% in mass kaolin, 26.6% by weight of laterite, 0.03 mass% of SiO_2 and 0.03% by weight of dolomite. Thanks to the special properties of the clay (the material is resistant to the temperature and acid attack, plasticity) is used as the refractory ceramic materials. We have tried, through this work, to highlight these properties including thermal insulation of clay by performing a mini-oven.

Finally, the study ends with the test and measurement of some properties of mini-oven.

Keywords: Clay, plasticity, thermal insulation

24 juillet 2015