

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



Université A.MIRA-BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de Mines et géologie

# Mémoire Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master  
Filière : Génie Minier  
Option : Valorisation des Ressources Minérales

## Présenté par

Mr : Kheloufi Said  
Mr : Berkani Yasser

## Thème

**Utilisation des rejets phosphatés  
pour la fabrication des terres cuites**

Soutenu le 11/09/2021 devant le Jury composé de :

Président	<b>Mme Z.Souici</b>	MCA	Univ. de Bejaia
Promotrice	<b>Mme T.Tahri</b>	MCB	Univ. de Bejaia
Examineur	<b>Mr S.Bouabdallah</b>	MCB	Univ. de Bejaia

Année Universitaire : 2020/2021

## **Remerciements**

Après ces années de labeur, d'angoisse et parfois d'appréhension, nous aimerons tout d'abord d'adresser nos plus sincères remerciements à Dieu le tout puissant et le miséricordieux de nous avoir donné la chance, la patience et le courage pour réaliser le présent travail.

Nous présentons aussi nos vifs remerciements à Madame Tahri T. d'avoir accepté de nous encadrer lors du présent travail en dépit de son emploi du temps très chargé et de la confiance qu'il nous a témoignée et les précieux conseils qu'il a bien voulu prodiguer pour cibler les aspects traités dans ce rapport pédagogique, et pour nous avoir instigué la rigueur et le goût du défi.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury (la présidente Mme Souici et l'examinatrice Mr Bouabdallah) pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions aussi nos amis kamel ouadria et la famille Geloui (achref, zaki, nabile, khaled,) Mouna et rayan , qui étaient toujours présents dans ce travail et tous les étudiants de l'université de Bejaia

nous ne voudrions pas oublier de remercier tous nos amis qui nous ont été d'un soutien que ce soit moral ou matériel et qui ont contribué de près ou de loin à nous aider.

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A ma chère mère qui m'a soutenu et encouragée durant ces années d'étude.*

*A mon cher père qu'est toujours à mes cotes pour me soutenir.*

*A l'âme de ma grand-mère, paix a son âme, qui nous a laissés en silence.*

*A tous mes amis que j'ai connus pendant ma carrière universitaire.*

*B.Yasser*

## *Dédicace*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A l'âme de ma grand-mère, paix a son âme,*

*A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mes chers amis, , pour leur appui et leur encouragement,*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*Kh.Saïd*

# Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale ..... 1

## **Chapitre I : APERÇU SUR L'ARGILE DE OUED REMILA ET LE PHOSPHATE DE DJEBEL ONK**

I.1 INTRODUCTION .....2

I.2 GENERALITE SUR LES ARGILES .....2

I.2.1. Structure et composition minéralogique des argiles .....3

I.2.2. Classification des minéraux argileux .....3

I.2.3 Propriétés des minéraux argileux ..... 4

I.2.3.1 La surface spécifique .....4

I.2.3.2 La capacité de gonflement et d'adsorption d'eau .....5

I.2.3.3 Capacité d'échange cationique .....5

I.3 PRESENTATION DE LA SOCIETE REMILA.....5

I.3.1. Géologie régionale... .....6

I.3.2. Situation Géographique.....6

I.3.3. Evaluation des réserves et durée de vie du gisement.....7

I.3.4. Aperçu hydrogéologique et climatique.....7

I.3.5. Etudes minéralogiques.....8

I.4. PROCESSUS DE FABRICATION DES BRIQUES.....8

I.4.1. Matières premières..... 9

I.4.2. Extraction.....9

I.4.3. Préparation de l'argile.....10

I.4.3.1. Broyage et malaxage.....10

I.4.3.2. Dosage et mélange.....10

I.4.4 Façonnage.....11

I.4.5. Séchage.....	12
I.4.6- Cuisson.....	14
I.4.6.1 Zone de préchauffage.....	14
I.4.6.2 Zone de cuisson.....	14
I.4.6.3 Zone de refroidissement.....	14
I.5 GENERALITES SUR LES PHOSPHATES.....	15
I.5.1. GEOLOGIE REGIONALE.....	15
I.5.2. Compositions minéralogiques de minerai phosphaté de Djebel Onk.....	17
I. 6. TRAITEMENT ET ENRICHISSEMENT DE PHOSPHATE DE DJBEL ONK.....	17
I.6.1. Préparation mécanique.....	17
I.7. PROCEDES DE TRAITEMENT.....	19
I.7.1. Traitement par voie humide.....	19
I.7.2. Traitement par voie sèche.....	20
I.8 Production des rejets.....	22
I.9 CONCLUSION.....	23
<b>CHAPITRE II : INDUSTRIE MINIÈRE ET SES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT</b>	
II.1 INTRODUCTION.....	24
II.2. LA DIRECTIVE 019.....	25
II. 3 LES ELEMENTS DANGEREUX DANS LE PHOSPHATE NATUREL.....	25
Toxicité du cadmium.....	27
Toxicité de l'uranium.....	28
II.4. Méthodes de gestion de différents rejets de l'industrie minière.....	28
II.4.1 Désulfuration environnementale.....	29
II.4.2 Remblais.....	30
II.4.2.1 Remblai souterrain.....	30
II.4.2.2 Remblai en fosse.....	30
II.4.3 Densification.....	31
II.4.3.1 Rejets épaisés.....	31
II.4.3.2 Résidus en pâte.....	31

II.4.3.3 Résidus filtrés.....	32
II.4.4 Co-disposition.....	33
II.4.4.1 Mélanger.....	33
II.4.4.2 Déposition en couche alternée.....	33
II.4.4.3 Inclusions de roches stériles.....	34
II.4.5 Les couts de gestion et de réhabilitation des rejets miniers.....	35
II.4.6 Valorisation des rejets miniers.....	35
II.4.7 Défis de réutilisation des rejets miniers.....	36
II.4.8 Utilisation des déchets comme matières alternatives dans la fabrication de briques cuites .....	36
Conclusion.....	36

### **CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODE**

III.1. INTRODUCTION.....	37
III.2. Les méthodes d’analyse des matières premières et produits finis.....	37
III.2.1. METHODE DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS.....	37
III.2.2. PREPARATION MECANIQUE.....	37
III.2.1.1. Analyse granulométrique.....	38
III.2.1.2 But de l’essai.....	38
III.2.2.1 La spectrométrie d’absorption atomique.....	38
III.2.2.2. Principe de l’absorption atomique.....	39
III.2.2.3. Appareillage.....	39
III.2.3.1. Préparation de l’échantillons.....	40
III.2.3.2. Les modes opératoires.....	40
III.2.3.4. La mesure par fluorescence X (XRF) .....	40
III.2.5. Diffraction des rayons X (DRX) .....	41
III.2.6. Analyse par Spectrométrie Infrarouge.....	41
III .2.7 les limites d’Atterberg.....	41
a) Limite de liquidité.....	41
b) Limite de plasticité.....	42
III.3. Les essais mécaniques.....	42

III. 3.1. L'essai de flexion.....	42
III. 3.2. Essai de compression.....	43
II. 3.2.1. Principe.....	43
III. 3.2.2. Mode opératoire.....	44
<b>CHAPITRE IV : UTILISATION DES REJETS PHOSPHATES DANS LA FABRICATION DES BRIQUES</b>	
IV.1 Introduction.....	45
IV. 2. PRÉPARATION DES ECHANTILLONS ET CARACTERISATION DU REJETS PHOSPHATE ET DE L'ARGILE.....	45
IV. 2. 1 Analyses granulométriques.....	45
IV.2.2 Analyses chimiques par FRX.....	49
IV.2.3 Analyses chimiques par FRX spectrométrie d'absorption atomique (SAA) .....	51
IV.2. 4. Analyses minéralogiques par DRX.....	51
IV.2.5. Analyse par spectrométrie IR.....	53
IV.2.6 Résultats de Limite de liquidité.....	54
IV.3. Préparation des échantillons des briques.....	56
IV.3.1 Utilisation des rejets phosphatés dans la fabrication de briques cuites.....	56
IV.3.2 Fabrication des briques cuites.....	56
IV.3.3. La préparation de la pâte d'argile et des rejets.....	57
IV.4. Analyses par FRX des briques cuites.....	59
IV.4.1 Analyses chimiques des briques à la température 850°C par FRX.....	59
IV.4.2 Analyses chimiques des briques à la température 900°C par FRX.....	60
IV.4.3 Analyses chimiques des briques à la température 900°C par FRX.....	61
IV.5. Essais physique.....	62
IV.5.1 Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques de 850 C° .....	62
IV.5.2 Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques de 900C° .....	63
IV.5.3 Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques de 950 C° .....	64
Interprétation.....	65
IV.6.Conclusion.....	66
Conclusion générale .....	67

Références bibliographiques

Résumé

## Liste des figures

### Chapitre I : APERÇU SUR L'ARGILE DE OUED REMILA ET LE PHOSPHATE DE DJEBEL ONK

<b>Figure 1</b> : Les différents types de phyllosilicates formés au cours de l'altération.....	2
<b>Figure 2</b> : Couche tétraédrique (T) : tous les tétraèdres pointent dans le même sens.....	3
<b>Figure 3</b> : Couche octaédrique (O) composée d'octaèdres de gibbsite $Al(OH)_3$ ou de brucite $Mg(OH)_2$ .....	3
<b>Figure 4</b> : Situation géographique et géologique de gisement de Remila.....	7
<b>Figure 5</b> : Montre les opérations : de l'extraction jusqu'au dosage du mélange.....	11
<b>Figure 6</b> : Opération de façonnage des produits.....	12
<b>Figure 7</b> : Opérations de séchage et de cuisson des produits.....	12
<b>Figure 8</b> : Schéma de séchoir a chambre.....	13
<b>Figure 9</b> : Séchoir tunnel.....	13
<b>Figure 10</b> : Four a tunnel.....	14
<b>Figure 11</b> : Fabrication des produits de terre cuite.....	15
<b>Figure 12</b> : Situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk.....	16
<b>Figure 13</b> : Schéma technologique de la préparation mécanique utilisé dans le complexe Djebel Onk.....	18
<b>Figure 14</b> : Schéma technologique de la voie humide (Atelier débouillage) .....	20
<b>Figure 15</b> : Schéma technologique de l'atelier de dépoussiérage (0,100-1,00 mm) (66/68) % TPL .....	22
<b>CHAPITRE II : INDUSTRIE MINIÈRE ET SES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT</b>	
<b>Figure 16</b> : Schéma montrant la coupe d'un bassin de résidus en pâte.....	32
<b>Figure 17</b> : Différents niveaux de mélanges de stériles miniers et de résidus de concentrateur .....	33
<b>Figure 18</b> : Cellules de stérile minier contenant des résidus densifiés.....	34

**Figure 19** : Structure d'un ouvrage comportant des inclusions de roches stériles .....34

### **CHAPITRE III :METHODE DES ANALYSES LES MATERIAUX PREMOERS ET PRODUITS FINIS**

**Figure 20** : Tamiseuse (laboratoire LTMGP université Bejaia) .....38

**Figure 21** : Schéma de spectromètre d'absorption atomique.....39

**Figure 22** : l'échantillon M sur la plaque chauffant.....40

**Figure 23** : filtrations avec papier filtre.....40

**Figure 24** : Appareil de casagrande ; Balance.....42

**Figure 25** : Essai de flexion.....43

**Figure 26** : Essais de felxion (Laboratoire cimenterie Ain-kebira) .....43

**Figure 27** : Essai de compression .....44

**Figure 28** : Essai de compression (Laboratoire cimenterie Ain-Kbira) .....44

### **CHAPITRE 4 UTILISATION DES REJETS PHOSPHATES DANS LA FABRICATION DES BRIQUES**

**Figure 29** : Granulométrie par tamisage des rejets phosphatés.....48

**Figure 30** : Granulométrie par tamisage de l'argile.....48

**Figure 31** : Teneurs des éléments chimiques de l'argile.....50

**Figure 32** : Teneurs des éléments chimiques des rejets phosphatés.....50

**Figure 33** : Teneurs des éléments chimiques des rejets phosphatés et argile.....51

**Figure 34** : Diffractogrmmes RX de l'argile.....52

**Figure 35** : Diffractogrmmes RX des rejets phosphatés.....52

**Figure 36** : Spectre infrarouge des rejets phosphatés.....53

**Figure 37** : Spectre infrarouge de l'argile.....54

**Figure 38** : Représentation de la teneur en eau en fonction du nombre de coups.....55

**Figure 39** : Argile après l'étuve.....56

**Figure 40** : Broyeur FRISCH, LTMGP.....56

**Figure 41** : compresseur hydraulique (hall de technologie université Bejaia) .....57

**Figure 42** : brique brute.....58

**Figure 43** : séchages de brique dans l'étuve.....58

**Figure 44** : cuisson de brique au four (hall de technologie) .....58

<b>Figure 45</b> : brique crues .....	58
<b>Figure 46</b> : Eléments chimiques des briques à la température 850°C par FRX.....	59
<b>Figure 47</b> : Eléments chimiques des briques à la température 850°C par FRX.....	59
<b>Figure 48</b> : Eléments chimiques des briques à la température 900°C par FRX.....	60
<b>Figure 49</b> : Eléments chimiques des briques à la température 900°C par FRX.....	60
<b>Figure 50</b> : Eléments chimiques des briques à la température 950°C par FRX.....	61
<b>Figure 51</b> : Eléments chimiques des briques à la température 950°C par FRX.....	61
<b>Figure 52</b> : Histogramme de la résistance (MPa) à la flexion et la compression de brique à 850C° .....	63
<b>Figure 53</b> : Histogramme de la résistance à la flexion et la compression des briques à 900C° .....	64
<b>Figure 54</b> : Histogramme de la résistance à la flexion et la compression des briques de 950 C° .....	65

### **Liste de tableaux**

<b>Tableau 1</b> : Valeurs de la surface spécifique de quelques familles argileux.....	5
<b>Tableau.2</b> : la composition minéralogique des argiles d'Oued Remila.....	8
<b>Tableau 3</b> : composition minéralogiques du minerai de phosphate de Djebel Onk.....	17
<b>Tableau 4</b> : Concentration acceptable des éléments dans le phosphate.....	26
<b>Tableau 5</b> : Analyse chimique des éléments potentiellement dangereux dans des phosphates naturels sédimentaires.....	26
<b>Tableau 6</b> : Méthodes de gestion de différents rejets de l'industrie minière.....	29
<b>Tableau. 7</b> : Granulométrie par tamisage des rejets phosphatés.....	46
<b>Tableau. 8</b> : Granulométrie par tamisage de l'argile.....	46
<b>Tableau 9</b> : Teneurs des éléments chimiques d'argile et de rejets de phosphate.....	49
<b>Tableau 10</b> : Composant chimique des matières premières.....	51
<b>Tableau. 11</b> : Identification des bandes dans le spectre IR pour l'argile.....	53
<b>Tableau. 12</b> : Identification des bandes dans le spectre IR pour les rejets phosphaté.....	53
<b>Tableau 13</b> : Calcul des teneurs en eau en fonction du nombre de coups.....	54
<b>Tableau 14</b> : Calcul de la limite de plasticité.....	55
<b>Tableau 15</b> : Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques à 850 C° .....	62

**Tableau 16 :** Résultats de la résistance à la flexion et la compression des briques à 900 C° .63

**Tableau 17 :** Résultats de la résistance (MPa) à la flexion et la compression de brique de 950 C° ..... 64

# **Introduction générale**

## Introduction générale

### Introduction générale

Les grands problèmes actuels, d'un point de vue économique et environnemental, est le traitement des volumes importants de rejets miniers produits continuellement par les activités industrielles et minières et de la consommation abusive des ressources naturelles non renouvelables en construction comme l'argile.

L'argile est une matière première utilisée dans la fabrication des briques de construction présente un intérêt croissant car son application industrielle ne cesse de se diversifier. La brique est un matériau de construction qui est fabriqué à une température appropriée « la température de frittage ». Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction.[1]

De nos jours de nombreuses industries produisent des déchets ces rejets industriels ne peuvent être considérés seulement comme un déchet mais plutôt comme un sous-produit ou des gisements d'un ou plusieurs éléments de valeur commerciale qui peuvent être un moyen d'allonger la durée de vie des argiles ou bien augmenter la rentabilité de la production.

Dans le but d'utilisation des rejets phosphatés qui sont stockés à l'air libre en grande quantité qui infectent sur les nappes phréatiques de la région Bir El Ater dans la fabrication des briques avec les argiles d'Oued Remila, Bejaia.

Nous présentons une étude nouvelle qui consiste à incorporer ces rejets dans la brique de construction. Nous avons procédé à la fabrication des briques en incorporant des pourcentages de rejets tout en respectant les différentes étapes de fabrication de brique et en variant la température de cuisson.

L'organisation du travail s'est faite de la manière suivante :

- Le premier chapitre présente un aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djbel Onk.
- Le deuxième chapitre consacré à l'industrie minière et ses impacts sur l'environnement
- Le troisième chapitre, est consacré aux analyses chimiques et physiques de l'argile, et aussi aux analyses mécaniques de brique
- Dans le quatrième chapitre, nous allons présenter et interpréter nos résultats d'analyses, et nous allons conclure les principaux constats obtenus dans le présent travail

Enfin, nous terminons par une conclusion générale.

# Chapitre 01

# Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

## I.1 INTRODUCTION

L'Algérie est un pays riche caractérisé par un sous-sol algérien riche en ressources minérales telles que le fer, le plomb, le zinc, le cuivre, les sulfates, les argiles et les phosphates ... etc.

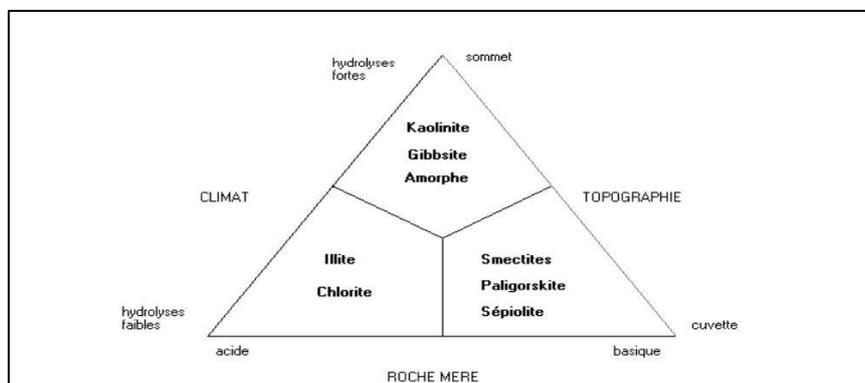
L'Algérie a bien exploité ses richesses en divers domaines industriels comme l'industrie de la brique et l'industrie du phosphate... etc. Dans la première partie de ce chapitre, nous allons décrire la géologie des gisements d'argile d'Oued Remila et la chaîne de production de briques (cas d'usine SOMACOB-BEJAIA). Alors que dans la deuxième partie, nous allons décrire la géologie des gisements de phosphate de DJBEL ONK et la chaîne de traitement de phosphate (cas d'usine FERPHOS-TEBESSA). C'est deux gisements font l'objet de notre étude de mémoire.

## I.2 GENERALITES SUR LES ARGILES

Le terme « argile » a deux sens, l'un est lié à la taille des particules [1] et l'autre est lié à la minéralogie [2]. En fait, le nom d'argile est basé sur la discipline et les domaines de recherche. Ils sont basés sur les propriétés physiques étudiées telles que la plasticité dépend de son utilisation ou de sa structure cristalline est importante, car elle est responsable des propriétés particulières des minéraux.

D'une manière générale, l'argile est le matériau sédimentaire produit par la strate de la surface de la croûte terrestre. Ces matériaux sont le résultat d'une dégradation physique ou la substance chimique des minéraux rocheux tels que le granit ou le basalte sous l'action de l'eau surface. Ensuite, ils se déplaceront de différentes manières (eau ; vent) pour s'installer dans le bassin sédimentaire [2].

La structure qu'ils produisent dépend du climat (température et l'humidité), l'altitude, les minéraux présents dans l'environnement et de nombreux facteurs géologiques (éruption volcanique, présence d'eau et de sel, etc.). Dans les climats froids de faible altération, les minéraux argileux et minéraux sont identiques ou peu différents roches (illite et chlorite), elles sont héritées des roches primitives. Dans un climat chaud et humide, lorsque l'hydrolyse se déroule, la kaolinite se forme dans le milieu de drainage et la montmorillonite se forme dans le milieu fermé. Selon la roche mère et le climat, les minéraux argileux produits sont également différents (Fig.1) [3].



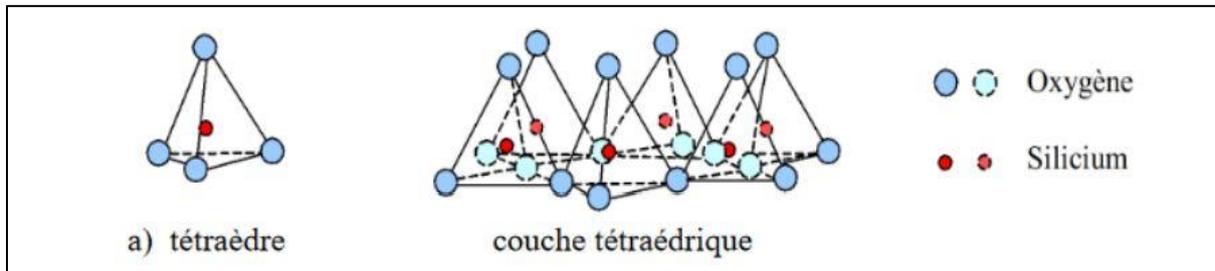
**Figure 1:** Les différents types de phyllosilicates formés au cours de l'altération [3].

# Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

## I.2.1. Structure et composition minéralogique des argiles

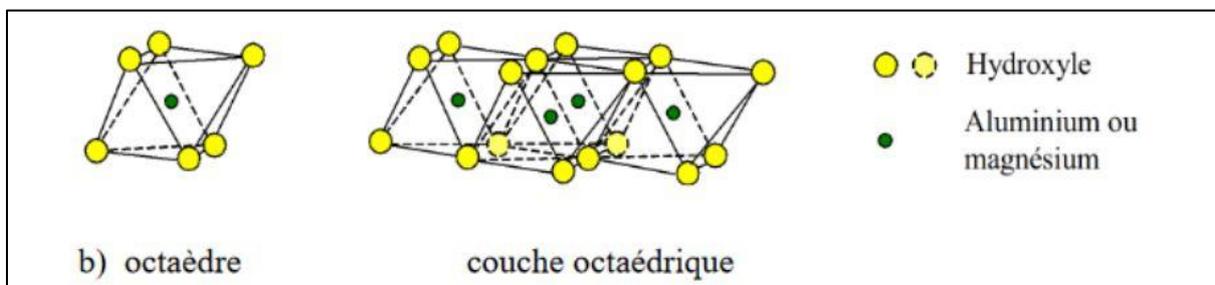
Les minéraux argileux sont constitués d'un empilement de feuillets de structure bien définie, séparés par des intervalles désignés sous le nom d'espace interfoliaire. Chaque feuillet se présente comme une superposition de plans ioniques organisés suivants deux types précis des couches : le type tétraédrique (T) et le type octaédrique (O), l'association d'un feuillet et d'un espace interfoliaire représente l'unité structurale du minéral phylliteux. Ces couches sont principalement constituées de quatre ions  $Si^{+4}$ ,  $Al^{+3}$ ,  $O^{-2}$ ,  $OH^{-}$ . Selon les types d'argiles on peut trouver aussi d'autres ions tels que  $Fe^{+3}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ .

▪ La couche tétraédrique présentée (Figure 2) à base de tétraèdres composés de quatre ions d'oxygène ( $O^{-2}$ ) sur les sommets qui entourent un cation de silicium ( $Si^{+4}$ ) [4].



**Figure 2** -Couche tétraédrique (T) : tous les tétraèdres pointent dans le même sens. [4]

▪ La couche octaédrique présentée (Figure 3) à base d'octaèdres avec sur les sommets des groupements hydroxyles  $HO^{-}$  et au centre soit un ion d'aluminium  $Al^{+3}$  (on parle ici de gibbsite  $Al(OH)_3$ ) ou un ion de magnésium  $Mg^{+2}$  (on parle alors de brucite  $Mg(OH)_2$ ) [4].



**Figure 3** Couche octaédrique (O) composée d'octaèdres de gibbsite  $Al(OH)_3$  ou de brucite  $Mg(OH)_2$  [4]

## I.2.2. Classification des minéraux argileux

Les minéraux argileux sont principalement divisés en trois types (T-O, T-O-T, T-O-T-O) leur différence est basée sur la composition chimique, l'épaisseur de la plaque, la taille de l'espace entre les feuilles et la capacité d'échange cationique (C.E.C). [5]

Type T-O : Il est composé d'une couche d'octaèdre et d'une couche de tétraèdre. Ce type est représenté par la kaolinite et la serpentine.

Type T-O-T : se compose d'une couche octaédrique entre deux couches tétraèdre. Ce type est représenté par l'illite et la montmorillonite.

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

Type T-O-T-O : Ce type est caractérisé par un morceau de papier, sauf série de trois couches (T-O-T), constituée de la quatrième couche octaédrique convient à l'espace entre les feuilles comme le chlorite.

Dépend du type de couche de base et de la taille et de la taille de l'unité structurale appelée distance de base mesuré en Angströms ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10}m$ ), et en fonction de la réactivité avec l'environnement, notamment concernant l'eau, l'argile est identifiée en quatre grandes catégories :

**Kaolinite** : un minéral avec une couche basique T-O de  $7 \text{ \AA}$ , composé de couche tétraédrique et couche octaédrique.

**Illite** : un minéral avec une table T-O-T de  $10 \text{ \AA}$  élément, composé de la couche octaédrique est assemblée par deux couches tétraédriques de part et d'autre.

**Chlorite** : un minéral avec des paillettes d'élément T-O-T-O de  $14$ , constituant une couche octaédrique composée de deux couches tétraédriques et d'une feuille intermédiaire. Il se compose d'une couche d'octaèdre.

**Montmorillonite** : un minéral avec des flocons et des ions d'élément T-O-T de  $10 \text{ \AA}$  couche octaédrique diverse ou O, insérée entre deux cartes TO-T. Sa distance à la base peut varier selon le type d'ion intercalé, et leur hydratation.

### I.2.3 Propriétés des minéraux argileux

Les minéraux argileux se caractérisent par plusieurs propriétés physico-chimiques dont les principales sont :

- La surface spécifique
- La capacité d'adsorption d'eau et de gonflement
- La capacité d'échange cationique [6].

#### I.2.3.1 La surface spécifique

Malgré leur taille fine, les argiles possèdent une grande surface spécifique qui dépend de la nature du minéral argileux. Surface totale des argiles comprend une surface externe facilement accessible et une surface interne qui correspond à celle développée par l'espace interfoliaire durant son expansion. La famille des smectites due à leurs propriétés de gonflements. Elle peut atteindre les  $800 \text{ m}^2/\text{g}$  si les particules sont complètement hydratés. Le tableau (1) résume les valeurs standards caractéristiques des surfaces de quelques familles argileuses.

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

**Tableau 1** : Valeurs de la surface spécifique de quelques familles argileuses [6].

Argiles	Surface interne (m <sup>2</sup> /g)	Surface externe (m <sup>2</sup> /g)	Surface total (m <sup>2</sup> /g)
Kaolinite	0	15	15
Illite	5	25	30
Smectite	750	50	800
Vermiculite	750	1	751
Chlorite	0	15	15

### I.2.3.2 La capacité de gonflement et d'adsorption d'eau

Généralement, toutes les argiles possèdent une capacité de rétention des molécules d'eau plus au moins importantes. Parmi les argiles qui se caractérisent par une forte capacité d'adsorption d'eau entre les feuillets de leur structure sont Les smectites, les vermiculites et les minéraux interstatifiés. Il est à préciser que le gonflement des argiles est tributaire de sa composition puisque ces matériaux sont constitués par des minéraux argileux et d'autres minéraux associés et la texture des argiles

### I.2.3.3 Capacité d'échange cationique

Afin d'établir l'électroneutralité au niveau de l'interface solide-liquide, les charges de surface seront compensées par des ions de charge opposées provenant de la solution, généralement des cations pour les argiles. La capacité d'échange cationique CEC est définie comme la concentration totale des sites superficiels disponibles aux cations. Ce paramètre est exprimé en quantité de charge par unité de masse (meq/100g).

## I.3 PRESENTATION DE LA BRIQUETRIE DE REMILA

La Briqueterie de Remila (société des matériaux de construction Bejaia, SOMACOB) est située à Oued Remila, commune Tinedbar daira de Sidi Aich, Wilaya de Bejaia a commencé son activité en juillet 2007.

L'entreprise s'est dotée d'une installation ultra moderne répondant aux normes internationales pour la fabrication de la brique rouge. Grace à des processus de fabrication de haute performance, et la sélection de matière première noble de qualité supérieur « ARGIL ». La briqueterie Remila couvre à présent un large besoin du marché, avec une gamme de produits de qualité et fiables. Actuellement, l'activité principale de la société consiste à produire de la brique rouge, avec une production moyenne de 200000 t/an.

Les briques commercialisées par SOMACOB sont soumises régulièrement à des contrôles de qualité, et analyses auprès de la CETIM Boumerdes qui garantissent la haute qualité et performance de ses produits [7].

## **Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk**

### **I.3.1. Géologie de gisement de Remila**

Bejaia fait partie du domaine tellien : une longue bande crétacé orientée approximativement ENE-WEW, qui s'étend sur plus de 150 Km. Cette grande bande manifeste ainsi une barrière souvent infranchissable mais percée de cluses. Les plus célèbres cluses sont les défilés de porte de fer, d'où le nom de chaîne des Bibans.

La géologie de la région peut être résumée par la présence des formations du Trias, Jurassiques, Crétacé et Cénozoïque.

Le gisement d'argile de Remila a fait l'objet d'une étude géologique détaillée par la SNMC (Direction de Recherche et Etude Géologique DREG, 1983). Les travaux de prospection sont menés sur la base d'un réseau de sondages et de creusement de tranchées. Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés ont permis de maîtriser les caractéristiques qualitatives de la matière première.

Les dépôts marins du miocène inférieur (Burdigalien) participent à la constitution de l'assise utile du gisement. Ils sont représentés par des argiles compactes, modérément plastiques, jaunes, grises à gris-jaunâtres. Des grès argileux de 0,1 à 1,5 mètre de puissance sont observés dans les argiles. La partie inférieure renferme des intervalles d'argiles aleuritiques. La puissance totale de l'assise utile argileuse est supérieure à 180 mètres. Quelques intercalations métriques de marno-calcaires y sont rencontrées.

Les argiles d'Oued Remila sont homogènes en profondeur comme en surface, la coupe lithologique du gisement (du haut vers le bas) est comme suit :

- De 0 à 0,8 m : terre végétale et limons
  - De 0,8 à 3 m : zone d'infiltration, Argiles jaunes à précipitations de carbonates
  - Argile marneuse jaune compacte plus ou moins plastique, de couleur jaune à gris jaunâtre avec intercalation d'argiles sableuses et grès argileux d'une puissance de 3 à 24 m.
  - Argile marneuse grise compacte avec intercalations d'argiles sableuses rarement de grès argileux (1,5m), traversées par des filonets de gypse subverticaux. Présence de quelques cristaux de pyrite. L'épaisseur de cette strate est de 24 à 18 mètres

Les argiles du gisement d'Oued Remila se caractérisent par leur stratigraphie stratification monoclinale accusant un angle de pendage moyen de 20 à 45 (moyenne dominante de 30°). L'azimut de pendage des roches varie entre 315 et 350. La présence de grès et d'argile sableuse dans l'assise argileuse témoignent du processus de transgression et de régression qui auraient eu lieu dans la région. Sur le plan tectonique trois directions d'accidents sont identifiées : Nord-Ouest, Nord-Est et Est [7].

### **I.3.2. Situation Géographique**

La carrière est située sur le territoire de la commune de Tinebdar, daïra de Sidi Aich, wilaya de Bejaia. Elle est localisée sur la rive droite (Ouest) de l'Oued Remila, soit à 1500 m de la piste au Nord de la route nationale RN 26 reliant El-Kseur à Sidi Aich. On y accède à partir de la route nationale par l'intermédiaire d'une route asphaltée et mal entretenue qui mène

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

vers la briqueterie de Remila et les localités situées plus au Nord, dont la Zaouia de Sidi Moussa. A 200 m avant d'arriver à la briqueterie, une piste de carrière mène à cette dernière en traversant Oued Remila (figure 4) [7].



Figure 4 : Situation géographique et géologique de gisement de Remila

### I.3.3. Evaluation des réserves et durée de vie du gisement

Les réserves géologiques dans les limites du périmètre sont évaluées par la méthode des coupes distantes de 50 m. Le niveau inférieur est situé à 105 m et le niveau supérieur à 210 m. La largeur minimale de la berme de sécurité est prise égal à 4-5 m, l'angle du bord de la carrière de 30°, 35° et 42° et la masse volumique de la roche de 2,2 t/m.

Les réserves géologiques sur tout le site de la carrière de Remila seront estimées à 8 500 000 tonnes [7].

### I.3.4. Aperçu hydrogéologique et climatique :

La région de la carrière présente d'importantes potentialités en eau. Elle se situe dans la zone de rencontre de l'Oued Soummam avec son affluent Oued Remila. Le réseau hydrographique est très diversifié. Les cours d'eau en tresse sont très nombreux. Ils prennent naissance sur les collines boisées du massif d'Akfadou dominant les paysages au Nord. Ils drainent un important mini-bassin versant a précipitations atmosphériques élevées (800 à 1200 mm/an). Ces derniers se déversent dans Oued Remila qui atteint des débits considérables en hivers, Les eaux de ruissellement ainsi collectées alimentent de l'Oued Remila qui se jette à la mer à 25Km au Nord. Ils convergent vers la plaine de Oued Soummam qui entourées de terrasses alluviales dont la majorité sont exploitées à des fins agricoles.

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

Les potentialités hydrogéologiques de la région sont importantes et prouvées. La nappe aquifère de l'Oued Soummam est très bien connue et de nombreux forage y sont réalisés. Elle alimente la majorité des agglomérations et localités situées autour de la vallée. Elle est constituée par les alluvions plainées d'Oued Soummam. A ce niveau de la vallée, la nappe présente une largeur appréciable de plus de 1200 m. De nombreux puits sont également creusés et utilisés pour l'irrigation des vergers, en complément des forages et aussi creusés dans les terrasses alluviales d'Oued Remila. Les niveaux d'eau y baissent sensiblement en périodes d'étiage.

La région de Bejaia accuse un déficit en pluviométrie au même titre que certaines régions de pays. Le climat de la région est méditerranéen, un été chaud et un hiver enneigé. La wilaya de Bejaia est située dans la partie Nord de l'Algérie, elle est considérée comme une ville côtière située sur le littoral. Les températures sont adoucies sur le littoral et un peu dans la vallée de la Soummam. La zone montagneuse, elle voit au contraire des gelées et neiges fréquentes.

La zone d'étude est considérée comme étant une zone a moyenne pluviométrie annuelle est entre 600 à 1100 mm pour la région. Oued Remila est caractérisé par des écoulements importants et permanents en temps de pluies. La période d'écoulement s'étale généralement de Novembre à Avril (06 mois par an). Dans la région de Remila, la période chaude s'étale de Juin à septembre et la saison froide de décembre à février [7].

### I.3.5. Etudes minéralogiques

Les argiles d'Oued Remila présentent une composition polyminérales, les résultats d'analyse thermique et par rayons X. Les argiles en générale se composent de : Kaolinite, de chlorite, carbonates, quartz, feldspaths et micas. Les résultats montrent que la composition minéralogique des argiles d'Oued Remila est comme suit :

**Tableau.2** : la composition minéralogique des argiles d'Oued Remila [7]

Eléments	Taux en %
Kaolinite	15-24 %
Chlorite	14-20 %
Quartz	20-30 %
Feldspath	2-10 %
Carbonates (calcite et dolomie)	24-28 %
Micas	3-8 %

### I.4. PROCESSUS DE FABRICATION DES BRIQUES

La production de briques cuites continue de se développer, grâce à les propriétés thermiques et mécaniques qui leur permettent de jouer un double rôle, En plus de l'isolation thermique, la structure est également très importante. L'homme a utilisé des briques cuites depuis environ 3000 ans. Les Ziggourats Assyriennes, les Remparts de Babylone, les Thermes Romains, le Musée de Cluny à Paris, Sainte Sophie et sa coupole à Istanbul, ainsi que d'autres monuments historiques, sont tous construits sur sa fondation des matériaux d'argile de poterie.

## **Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk**

Depuis, la fabrication de briques cuites n'a cessé pas d'évoluer pour développer à nos jours des produits qui combinent les fonctions de structure, d'isolation thermique et phonique, de remplissage, de durabilité à l'altération, de qualité de confort, de résistance contre le feu et de respect de l'environnement. D'ailleurs, ce sont ces facteurs clés qui ont favorisé l'utilisation de briques cuites depuis des millénaires [8].

Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes :

L'extraction des matières premières (argiles), la préparation de l'argile, le façonnage, le séchage et la cuisson [9,10].

### **I.4.1. Matières premières**

Les briques cuites sont fabriqués en grande partie à partir de matières premières naturelles :

Les argiles supportent le façonnage grâce à leur plasticité. Elles sont des matériaux sédimentaires existes principalement des particules fines (moins 2  $\mu\text{m}$ ) et caractérisés par la présence de minéraux argileux dont les plus importants, sont : les kaolinites, l'illite, les smectites et les chlorites. En pratique, on distingue les argiles selon leur plasticité (grasses ou maigres), leur couleur (rouges, verdâtres, colorées), leur comportement à la cuisson (grésantes ou réfractaires). Ces propriétés dépendent essentiellement de la composition chimique et minéralogique des argiles utilisées. L'influence et le comportement de ces deux paramètres au cours de la cuisson sont décrits dans les recherches de [11,12].

Les matériaux de charge sont généralement utilisés pour réduire la plasticité excessive de certaines argiles. Une plasticité importante provoque souvent des difficultés de fabrication (quantité importante d'eau de façonnage, séchage lent et retrait de séchage important). Ils comprennent le sable, la chamotte, les cendres volantes, les dures roches broyées, etc. Ils permettent de donner une structure moins compacte et de favoriser l'évacuation des gaz au cours des procédés de séchage, de cuisson, de baisser la plasticité des céramiques, la quantité d'eau de façonnage et le retrait de séchage.

Les agents formateurs de pores sont habituellement utilisés pour améliorer la résistance thermique et par conséquent le pouvoir d'isolation thermique et phonique de briques. Par la capacité des agents formateurs de pores à augmenter la porosité des produits de briques. Les agents plus souvent utilisé sont les calcaires et les carbonates naturels [8].

### **I.4.2. Extraction**

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

Une briqueterie jouxte généralement une argilière. Certaines briqueteries ajoutent des argiles en provenance d'autres argilières afin d'étoffer la gamme de produits.

Le transport reste toutefois limité. Il faut savoir que chaque produit de terre cuite nécessite une matière première appropriée [9].

## **Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk**

### **I.4.3. Préparation de l'argile**

La préparation comprend deux opérations principales : le 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 [9].

#### **I.4.3.1. Broyage et malaxage**

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 sur la structure du produit en terre cuite. Cette étape très importante s'effectue dans des broyeurs mécaniques à meules verticales ou à cylindres horizontaux.

En Belgique, le broyeur mécanique à meules verticales, est très utilisé et 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 le 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 [9].

#### **I.4.3.2. Dosage et mélange**

Aujourd'hui, on ne fabrique plus 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, ...etc.

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 que des « nourrices » alimentent régulièrement, et dans les proportions requises, un ou plusieurs mélangeurs [9].

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

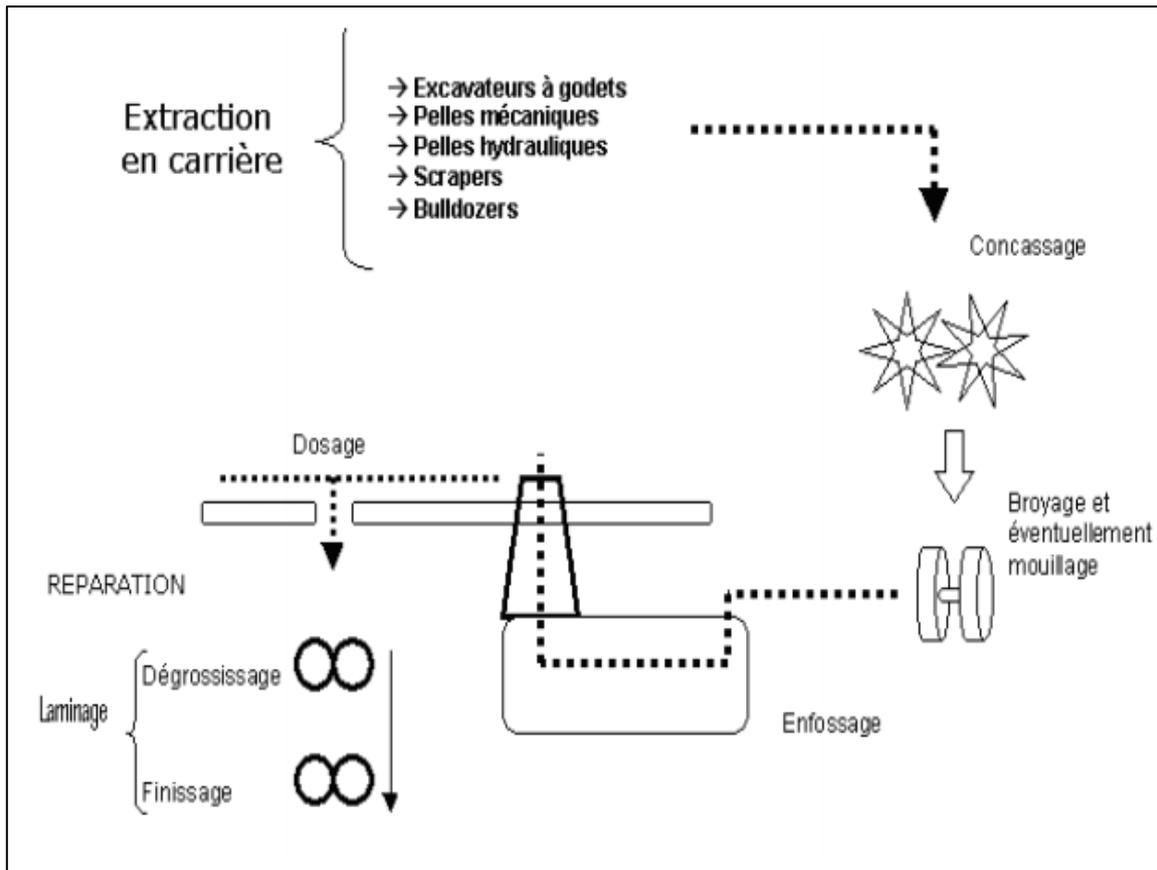


Figure 5. Montre les opérations : de l'extraction jusqu'au dosage du mélange [10].

### I.4.4 Façonnage

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

**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.

**Briques étirées** : enfin, dans notre pays, 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.

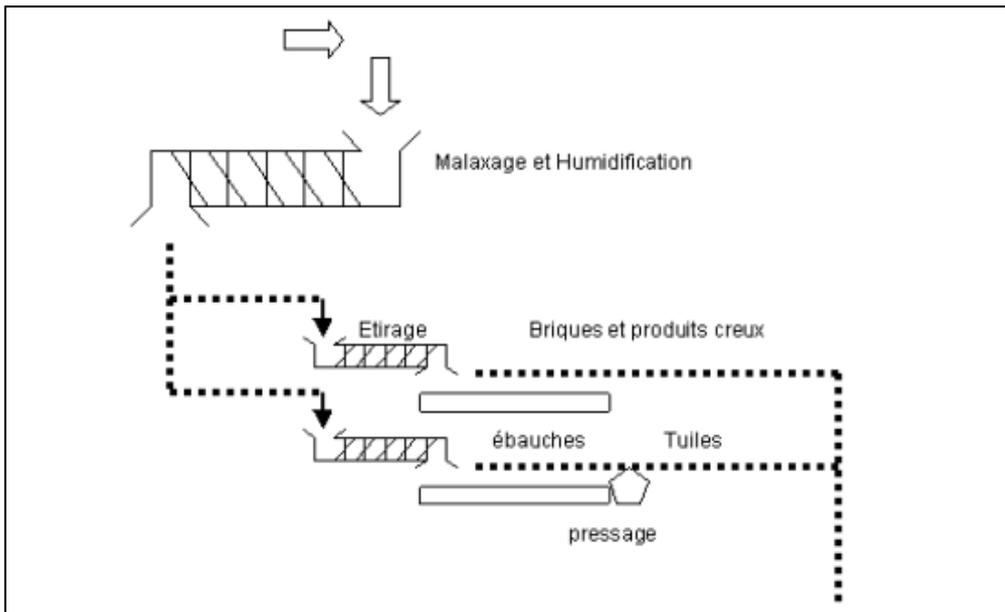


Figure 6. Opération de façonnage des produits [10].

#### I.4.5. Séchage

Avant d'être cuites, les briques crues doivent encore perdre une grande partie de leur teneur en eau. Le séchage a pour but d'éliminer lentement l'eau de moulage sans déformer le produit.

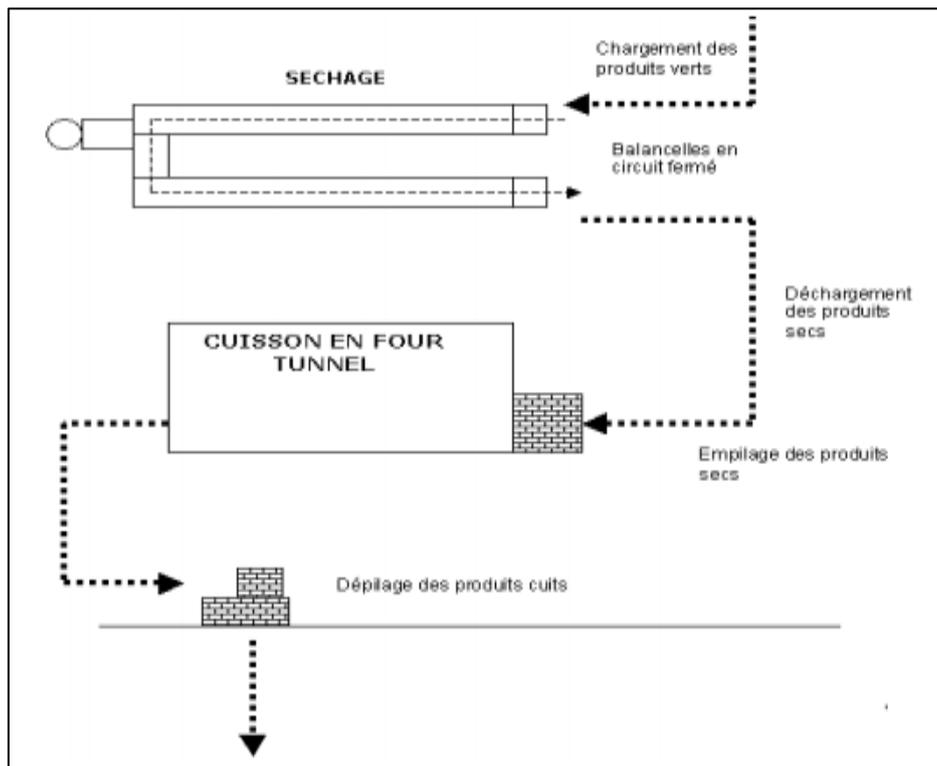


Figure 7. Opérations de séchage et de cuisson des produits

La durée de l'opération de séchage est très variable. On distingue deux groupes de séchoirs :

- 1- Les séchoirs statiques ou séchoirs à chambres à grande ventilation

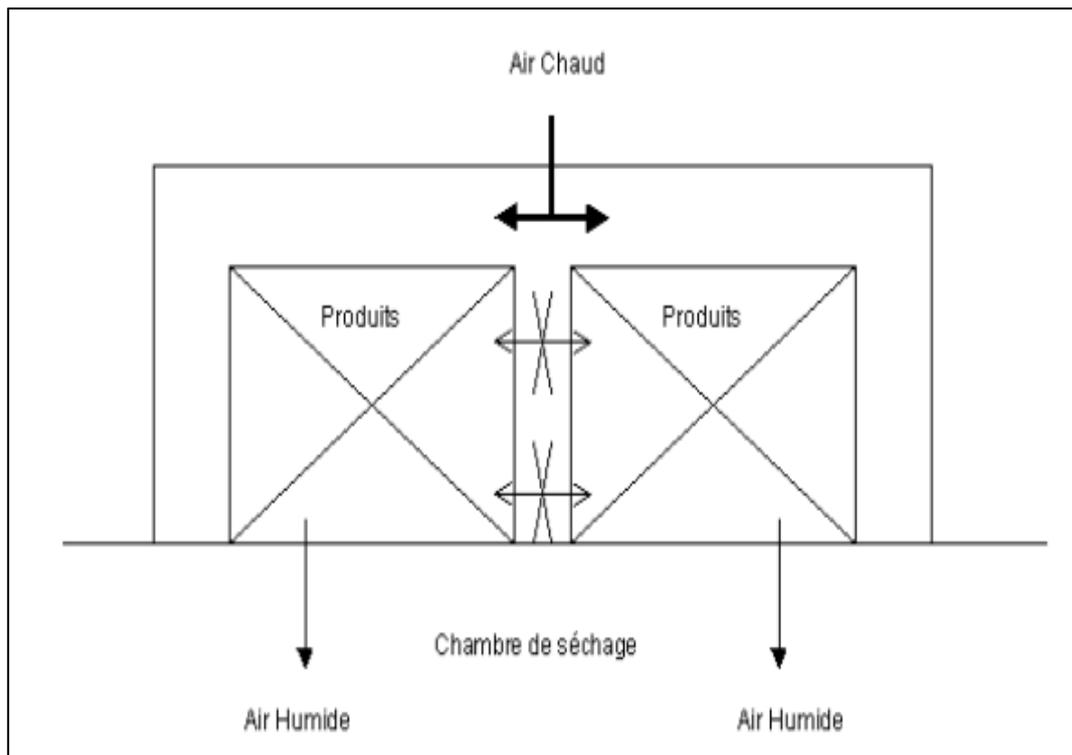


Figure 8. Schéma de séchoir a chambre

2- Les séchoirs à circulation continue des produits

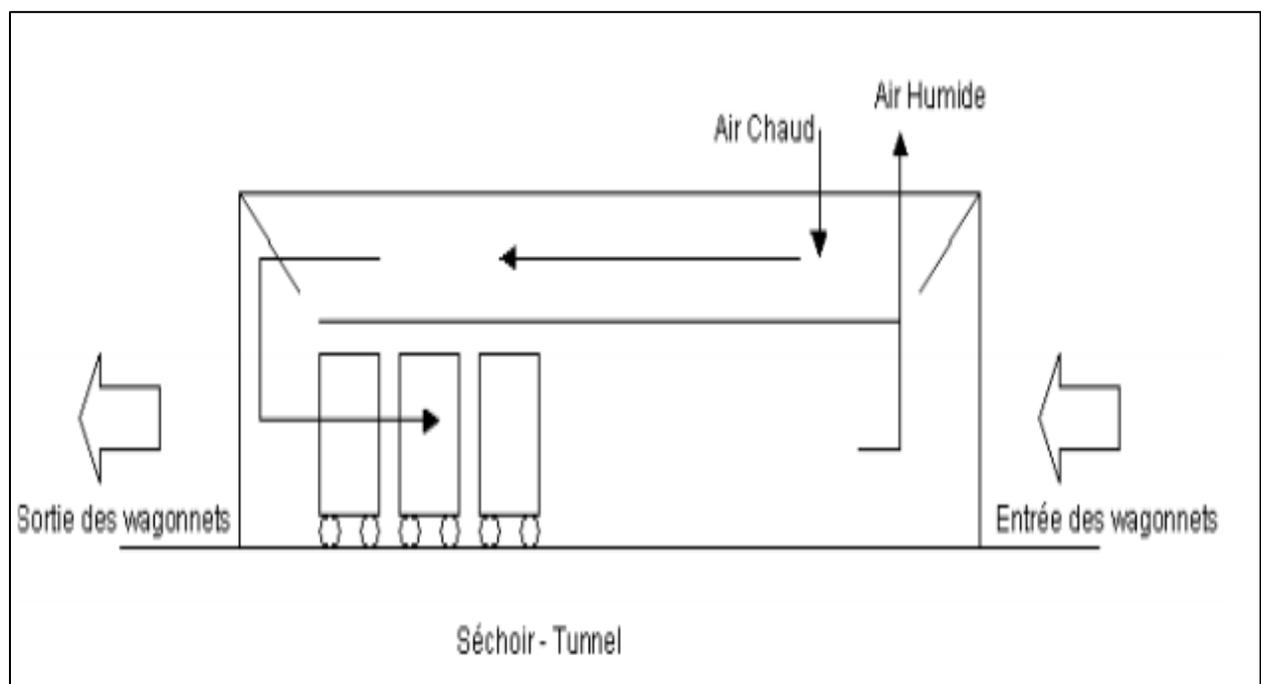


Figure 9. Séchoir tunnel

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

### I.4.6- Cuisson

C'est la dernière opération que les produits façonnés et séchés doivent subir, avant de pouvoir devenir une brique de terre cuite. C'est la phase la plus importante 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.

La cuisson s'effectue dans un four tunnel qui est reparti en trois zones : préchauffage, cuisson et refroidissement.

#### I.4.6.1 Zone de préchauffage

Dans la zone de préchauffage, les gaz brûlés pénètrent à haute température, ces gaz cèdent progressivement leur calorie aux produits qui s'échauffent et qui sous l'effet de la température dégagent leur vapeur d'eau résiduelle et les produits de décomposition. Les gaz refroidis de la zone de préchauffage et ceux chargés des éléments de combustion sont évacués par les ventilateurs de tirage qui assurent en permanence la circulation des gaz dans le four.

#### I.4.6.2 Zone de cuisson

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.

#### I.4.6.3 Zone de refroidissement :

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.

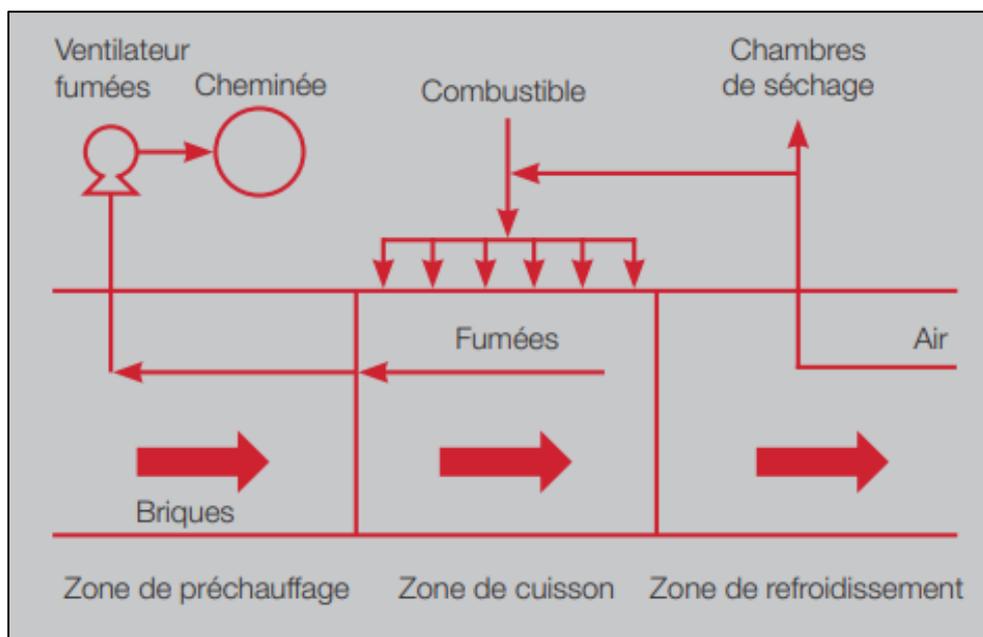


Figure 10. Four a tunnel

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

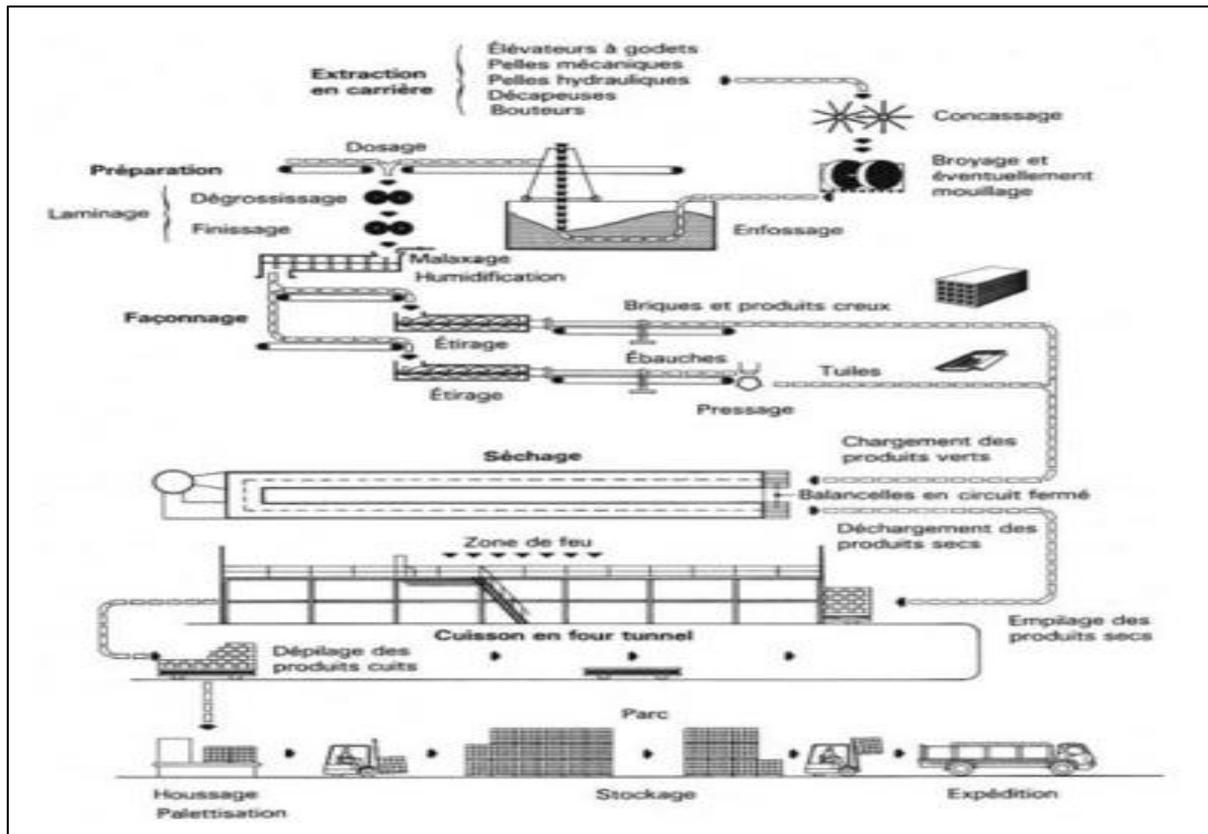


Figure 11. Fabrication des produits de terre cuite [10]

### I.5 GENERALITES SUR LES PHOSPHATES

La région Djebel Onk est située au Sud-Est de l'Algérie à 100 kilomètres au Sud-ouest de Tébessa et à 20 kilomètres de la frontière algéro-tunisienne, sur la route qui relie Tébessa à El-Oued. Elle constitue la limite géographique naturelle entre les hauts-plateaux du Constantinois et le domaine saharien. Le Djebel Onk est, lui-même, un massif montagneux calcaire, long d'une vingtaine de kilomètres et culminant à 1198 m au Djebel Tafraya. Ce massif forme l'extrémité orientale des Monts des Nememchas qui prolongent les Monts des Aurès vers l'Est, avec des sommets moins élevés, inférieurs à 1800 m [13].

Les gisements les plus importants sont en relation avec ceux connus en Tunisie ; il s'agit des gisements situés au nord de Tébessa (Djebel Kouif et Djebel Dir) et des gisements qui se situent sur la bordure de l'anticlinal de Djebel Onk, dans la région de Bir El Ater. Exploités par la Société Minière des Phosphates (SOMIPHOS) - filiale de FERPHOS, les ressources prouvées sont estimées à plus de 2 milliards de tonnes de phosphate [14].

#### I.5.1. GEOLOGIE REGIONALE

Les phosphates algériens sont liés aux dépôts marins du Tertiaire Paléocène et Eocène- (Visse, 1952). Les phosphates stratiformes liés aux dépôts marins, sont largement développés sur le territoire Nord-est algérien. Ils sont subdivisés en deux zones : celle du Nord, plus exactement connue à Sétif et Bordj Bou Arreridj, à l'exemple des anciennes exploitations (Ras El -Oued, Bordj Ghedir) et la zone Est, plus riche et très importante particulièrement à Tébessa

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

où se trouvent les gisements en cours d'exploitation. Notamment dans la région de Djebel Onk. Cette région comprend plusieurs secteurs ou formations phosphatées. Parmi les gisements soumis à l'expertise, dont les limites sont définies sur (la figure 11), trois sont attenants à l'exploitation actuelle Djemi-Djema Est et Ouest et Kef Es Senoun, et trois en sont éloignés de 6 à 35 kilomètres : Djebel Onk Nord, Bled El Hadba et Oued Bétita.

Les dépôts de phosphates sont concentrés dans plusieurs gisements : Bled El Hadba (800 Mt), Djemi Djema (618 Mt), Kef Esnnon (517 Mt), Bétita (175 Mt), Djebel Onk Nord (92 Mt) et Tarfaya (144 Mt). Ces phosphates sont d'âge tertiaire inférieur : passage paléocène à l'éocène inférieur. Ces domaines phosphatés d'âge tertiaire, appartiennent à la grande province phosphogénique méditerranéenne qui s'étale depuis le Maroc à l'Ouest jusqu'aux pays du Moyen -Orient (Irak, Jordanie, Syrie, etc..).

Les Gisements d'importance économique, connus sous le nom de phosphorite, sont localisés dans la zone Est et plus précisément à Tébessa, ou ils sont en relation étroite et partagent des affinités avec les gisements connus en Tunisie. Ceux du Nord Est de Tébessa (Dj. Dyr et El Kouif), en terme des réserves sont l'équivalent de : Ain Kerma, Kelaât Djerda et Sra Ouartane du côté tunisien et ceux de Bir El Ater, situés sur les flancs de Djebel Onk et le flanc Ouest de Djebel Zrega, avec un potentiel économique considérable, sont en rapport direct avec les gisements exploités en Tunisie dans le Bassin de Gafsa (Visse,1952 et Kassatkine et al.,1980), comme les gisements de M'rata, Redeyef, Kef Eschfair et Metleoui. Ce grand bassin phosphaté, situé entre l'Algérie et la Tunisie, est connu sous le nom du Bassin Gafsa-Bir El Ater, dont fait partie le gisement de Bled El Hadba, ce dernier, objet de cette étude.

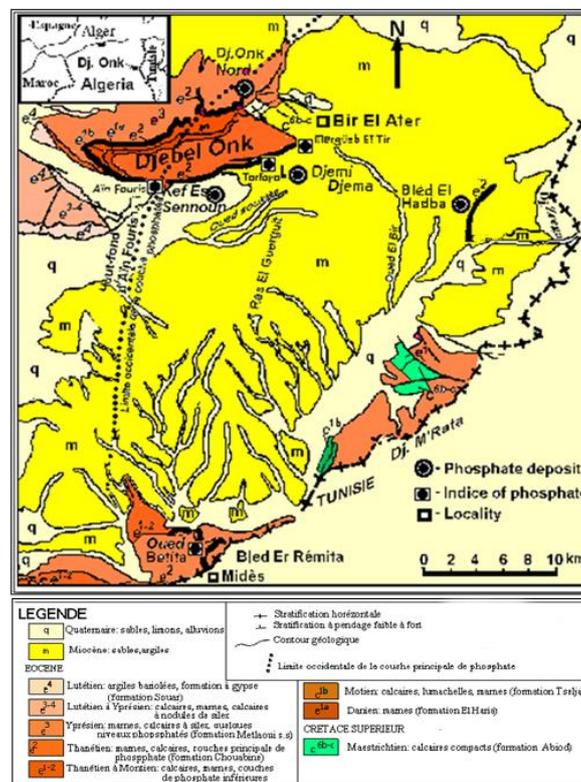


Figure 12. Situation géographique des gisements de Djebel Onk

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

### I.5.2. Compositions minéralogiques de minerai phosphaté de Djebel Onk :

Le minerai de phosphate dans la région de Djebel Onk se caractérise par ces deux qualités noir et beige qui diffèrent en pourcentage de la matière organique et MgO qui sont très grandes dans le phosphate noir et par un dégagement d'une mauvaise odeur pour le noir. Sa composition minéralogique est décrite dans le tableau suivant :

**Tableau 3** : composition minéralogique du minerai de phosphate de Djebel Onk [16]

Eléments composants	Symboles
Phosphate tricalcique	Ca (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Carbonate de calcium	CaCO <sub>3</sub>
Carbonate de magnésium	MgCO <sub>3</sub>
Dolomite	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Alumine	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Hématite (oxyde de fer)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Gypse	CaSO <sub>4</sub>
Sulfate de soude	Na <sub>2</sub> Ca (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Chlorure de calcium	CaCL <sub>2</sub>
Quartz	SIO <sub>2</sub>
Sulfate, Fluor et matières organiques	S, F, C
Autres éléments en traces (Cadmium, Uranium, Titane...)	Cd, U, Ti

### I.6. TRAITEMENT ET ENRICHISSEMENT DE PHOSPHATE DE DJBEL ONK

#### I.6.1. Préparation mécanique

L'unité de valorisation des phosphates de Djebel Onk située près de la ville de Bir El Ater traite le produit venant de la carrière. Les traitements consistent en un enrichissement du titre en TPL, soit par voie thermique (dépoussiérage) ou par voie humide (débouillage). Dans les deux cas, une préparation mécanique préalable est utilisée pour réduire la taille des grains et éliminer les fractions fines et grossières où se concentrent naturellement les matières indésirables (carbonates, silices, argiles, etc....) (figure 13)

*a) Concassage* : Cette opération a pour but la réduction des blocs du tout-venant alimentant l'usine de traitement, d'une dimension de 1 mètre jusqu'à une grosseur inférieure à 200 mm et 80mm pour les deux concasseurs suivants respectivement :

- Concasseur à cône giratoire « BABITLESS » d'une capacité de 1000 T/h ;
- Concasseur à percussion « HAZEMAG » menu d'un système de scalpage d'une capacité de 1000 T/h.

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

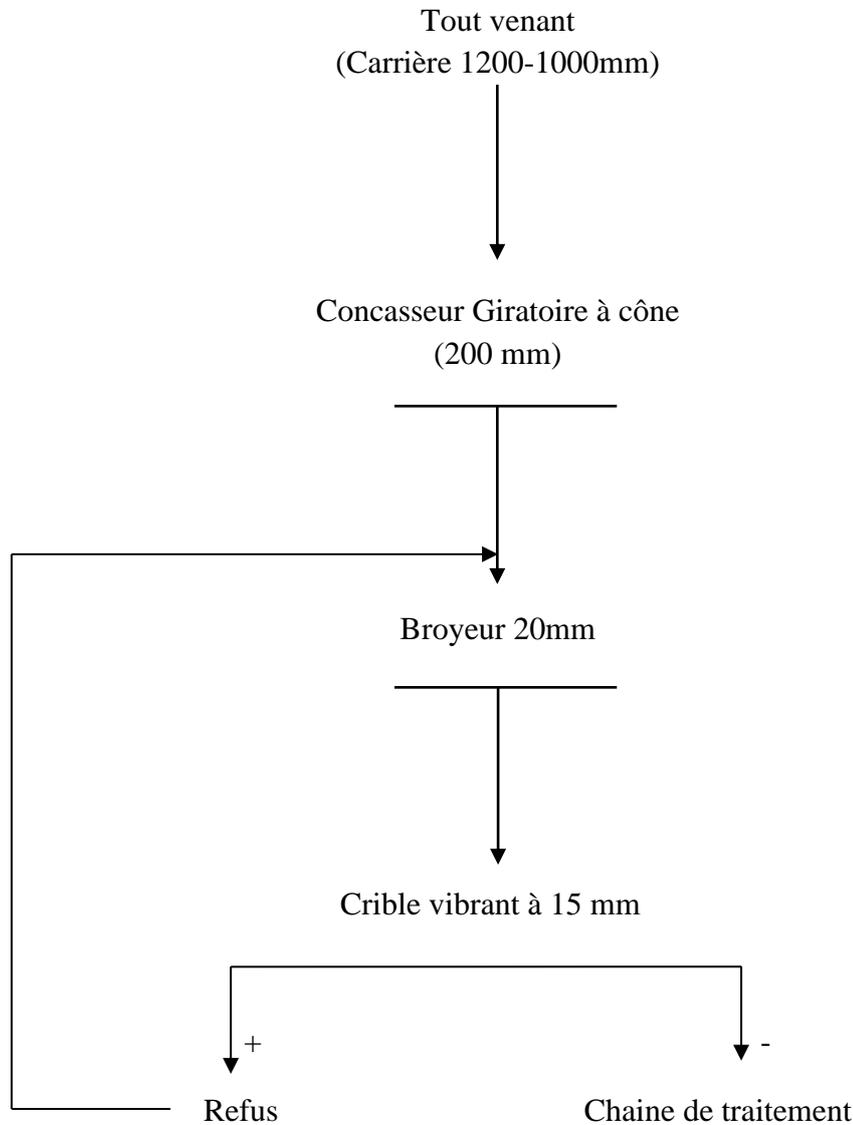
**b) Broyage :** est une opération de réduction des morceaux concassés à une dimension inférieure à 20 mm par les broyeurs suivants :

- Trois broyeurs à marteaux articulés «WEDAG» d'une capacité 300 T/ h
- Broyeur à marteaux

**c) Criblage :** Cette dernière opération de la préparation mécanique consiste à séparer le minerai selon leur dimension sur une surface tamisée dont la maille est de 15 mm. Elle s'effectue au moyen des cribles suivants :

- Trois cribles vibrants inclinés «WEDAG» d'une capacité de 300 T/h.
- Un crible «HAZEMAG» d'une capacité de 600 T/ h.

Les produits criblés dont la taille est inférieure à 15 mm alimentent les deux voies de traitement : Sèche et humide.



**Figure 13.** Schéma technologique de la préparation mécanique utilisé dans le complexe Djebel Onk [15].

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

### I.7. PROCEDES DE TRAITEMENT

#### I.7.1. Traitement par voie humide

Le procédé de traitement par voie humide permet d'obtenir un produit final avec une teneur de 63% à 65% TPL (phosphate tricalcique on line). Il comprend quatre opérations : Débourage ; Calcination ; Lavage ; Séchage.

*a. Débourage :* Le but de l'opération est l'élimination des matières siliceuses qui peuvent nuire à la qualité du minerai prétraité. Après criblage le minerai est mis en pulpe au niveau du malaxeur, celui-ci passe ensuite sur les grilles courbes. Le produit ayant une taille supérieure à 1mm est appelé refus grille courbe : c'est la coupure haute.

Pour l'opération de débourage il existe quatre grilles disposées en cascade, dans les trois premiers sont utilisées pour l'enrichissement du produit. L'alimentation en eau s'effectue avec un débit décroissant en raison de frictions qui se produisent au cours de l'opération.

Les refus des trois premières grilles passent par une goulotte pour la grille de contrôle.

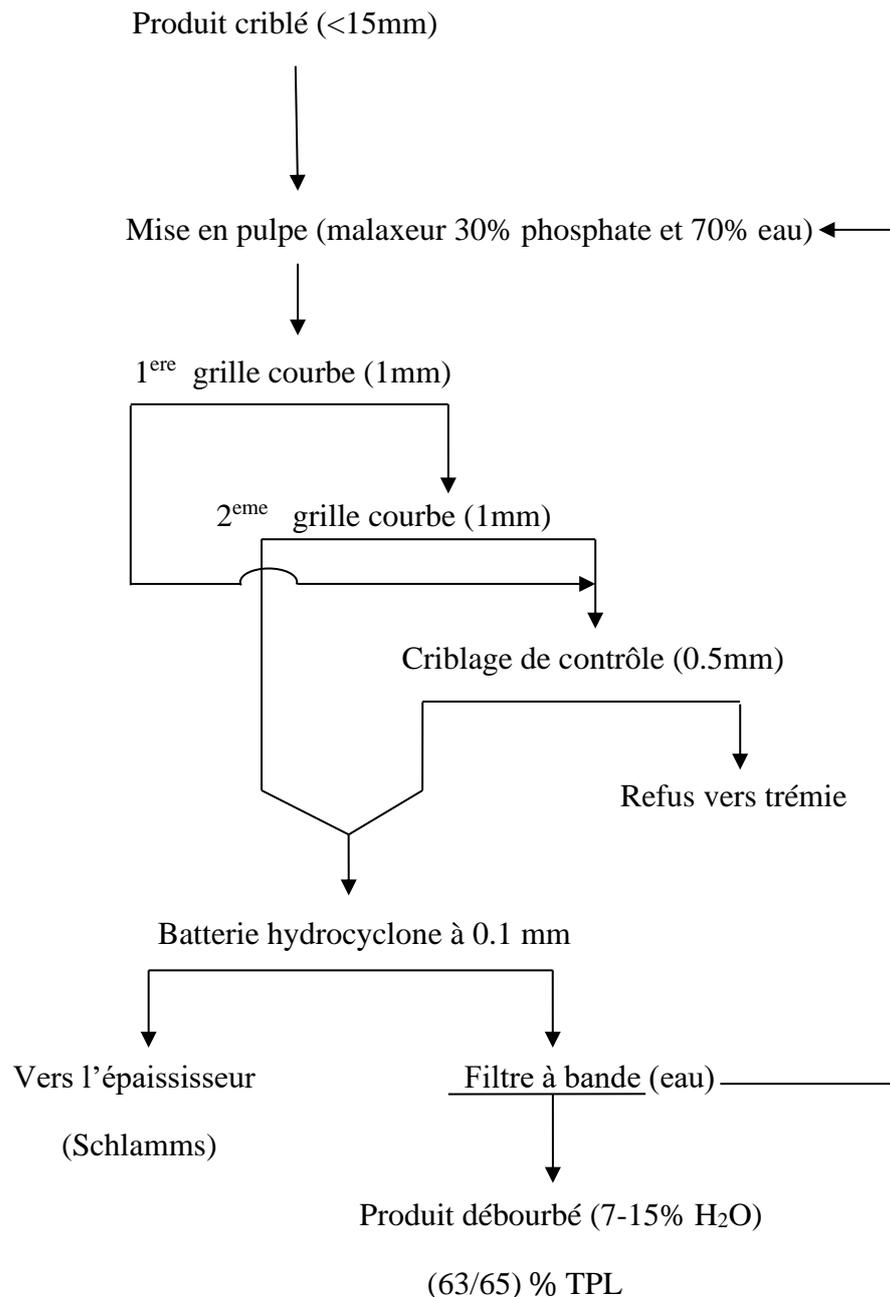
- Les refus sont transportés par convoyage vers l'extérieur.
- Les passants sont soumis à une séparation hydraulique au niveau des hydrocyclones pour débarrasser les fines particules c'est-à-dire la matière siliceuse.

Dans ces hydrocyclones s'effectuent la coupure basse en vue d'éliminer les particules dont la taille est inférieure à 80  $\mu\text{m}$ . Il est de type Dorclone.

Le principe des hydrocyclones se base sur la force centrifuge résultante de l'alimentation tangentielle sous pression du produit, sous l'influence de cette force et de la concentration du milieu les particules solides se dirigent vers la pointe de la paroi en suivant des trajectoires en spirales de rayons différents (les matières siliceuses et le phosphate se séparent par des forces centrifuges qui déplacent le phosphate vers la souverse et les fines particules vers la surverse).

La souverse alimente deux filtres à bandes avec un taux d'humidité de 10 à 12 %. Le produit filtré est transporté par convoyage vers l'atelier de calcination (la teneur de débourage est comprise entre 63 à 65% TPL). La surverse qui représente la gangue est évacuée vers l'épaisseur pour la décantation ou l'eau est recyclée et la boue évacuée vers l'Oued.

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk



**Figure.14.** Schéma technologique de la voie humide (Atelier débouillage) [15].

### I.7.2. Traitement par voie sèche

Le dépoussiérage est une méthode de traitement du minerai par voie sèche basée sur les propriétés physico-chimiques des particules. Il consiste en l'élimination des matières siliceuses à sec en se basant sur les caractéristiques physiques du minerai et du stérile, la différence de densité et leur résistance mécanique aux forces appliquées sur la masse lors du traitement.

Le produit broyé et criblé est reçu dans une trémie avec une humidité de 3 à 7% et une teneur moyenne de 56% TPL. Ce traitement consiste à diminuer l'humidité du produit jusqu'à 1% avec une teneur en TPL variant de 66 à 68%, ce produit est appelé dépoussiérage.

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk

Le dépoussiérage s'opère en cinq phases :

- Séchage du minerai criblé en lit fluidisé.
- Pré criblage à 2 mm.
- Broyage à percussion.
- Turbo séparateur ventilé (T.S.V).
- Post criblage à la maille de 100 $\mu$ m.

**a. Le séchage du minerai criblé en lit fluidisé :** Il est réalisé à l'aide d'un four à lits fluidisé. La température de combustion atteint jusqu'à 1200°C. Après la préparation le produit est reçu dans une trémie de stockage (400t), puis à l'aide d'un distributeur alimente les deux fours identiques. Ils sont constitués d'une chambre cylindrique briquetée avec une chambre de combustion qui produit de la flamme. L'air de combustion et l'air de dilution insufflé de l'air chaud dans le four. Le toit du four est relié à un exhausteur pour aspirer les gaz et les fines particules vers l'atmosphère. Les gaz chauds passent de la chambre de combustion dans la boîte à vent, puis dans le compartiment du séchage à travers les tuyères pour assurer la suspension du produit et lui faire une séparation granulométrique. Les particules les plus fines s'envoient avec les gaz vers un ensemble de cyclones primaires et secondaires, tandis que les plus grosses sont déchaînées à la sousverse du lit par une vanne à glissière automatique. Le dispositif offre la possibilité de faire varier le niveau du lit du séchage dans les proportions très appréciables, donc de modifier le temps de séjour du produit dans le flux d'air chaud afin d'obtenir la qualité du séchage désirée et d'améliorer éventuellement la séparation du produit (la température du lit désirée varie entre 110 -130°C ).

Le produit séché (à 120°C) et le produit de cyclonage sont rassemblés et acheminés à l'aide d'un convoyeur à bandes vers le crible à 2 mm. Les fines récupérées par le second cyclone sont transportées par la chaîne métallique vers la trémie de stérile.

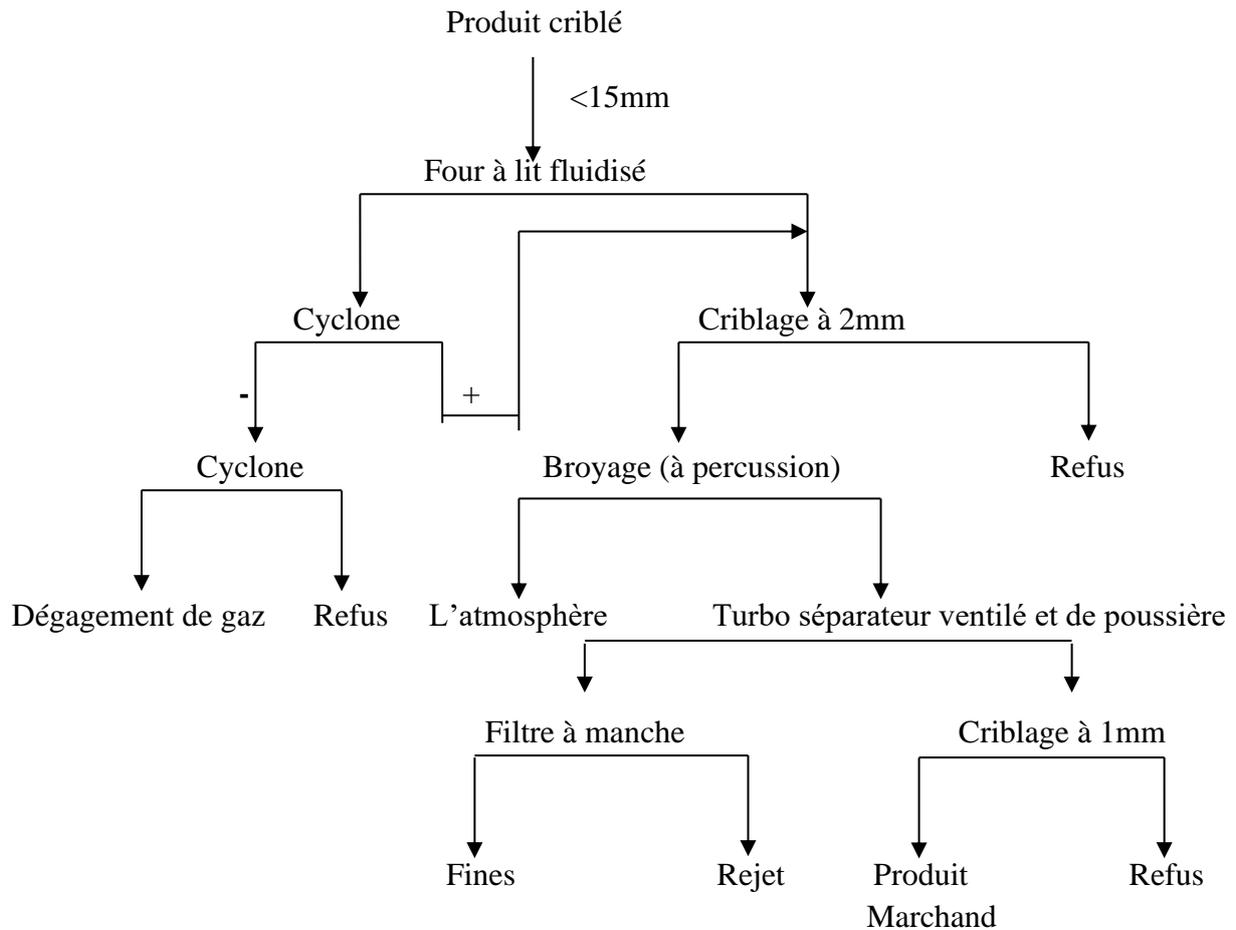
**b. Criblage à 2 mm :** Cette opération est réalisée par deux cribles vibrant d'inclinaison 45° entrent dans la séparation afin d'éliminer les stériles supérieurs à 2 mm qui seront stockés par la suite dans la trémie.

**c. Broyage (attrition) :** L'attrition est une opération visant à détacher les particules fines qui adhèrent aux grosses par friction des particules les unes contre les autres. L'objectif premier de broyage par attrition est la libération des grains riches en TPL et la diminution de la granulométrie qui sont ensuite récupérés par aspiration.

**d. Sélection pneumatique (0,08 à 0,8mm) :** Pour l'élimination des fines à bas titre en TPL par une séparation granulométrique à 90 $\mu$ m, dans un courant d'air, les fines sont entraînées par courant d'air ascendant tandis que les grosses tombent sous l'effet de leur poids, les particules ayant les dimensions <100 $\mu$ m sont récupérées par les filtres à manches pour la filtration et l'évacuation dans la trémie 546 à l'aide des aéroglisseurs.

**e. Criblage à 1 mm :** Elle permet l'élimination de stériles supérieurs ou égales à 1 mm. Les différentes expériences et analyses granulométriques réalisés ont montré que la tranche de minerai riche en phosphates est comprise entre 0,1 et 1 mm.

## Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk



**Figure 15.** Schéma technologique de l'atelier de dépeussierage (0,100-1,00 mm) (66/68) % TPL [15].

### I.8 Production des rejets

Selon les secteurs de la chaîne de traitement, les rejets produits sont :

- Secteur de la préparation mécanique :

- les refus + 15 mm (8 à 10 %).

- Secteur de traitement par voie humide (30%) :

- Les refus + 1mm

- Les boues de débouillage

- Secteur de traitement par voie sèche (31 à 36%) :

- Les refus + 2 mm de dépeussierage

- Les refus + 1 mm de dépeussierage

- Les fines de dépeussierage

À l'état actuel les rejets produits sont :

## **Chapitre 1 : Aperçu sur l'argile d'Oued Remila et le phosphate de Djebel Onk**

- La préparation mécanique produite environ 288 000 tonnes/ an.
- Traitement par voie sèche produit environ 390 000 tonnes/ an.
- Traitement par voie humide produit environ 530 000 tonnes / an [16].

### **I. 9. CONCLUSION**

Les phosphates de la région de Djebel-Onk font partie d'un vaste ensemble de gisements phosphatés formés à la période Fini Crétacé–Eocène sur les rives sud et sud est méditerranéennes. Ces concentrations d'intérêt économique sont exploitées près de la ville de Bir El Ater (Wilaya de Tébessa) par l'entreprise nationale SOMIPHOS.

La théorie générale de la fracture permet une meilleure compréhension des mécanismes de fragmentation et apporte des éléments indispensables à l'interprétation des phénomènes observés.

# Chapitre 02

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

### II.1 INTRODUCTION

L'industrie minière a apporté une contribution très importante au développement socio-économique de chaque pays qui possède des ressources minérales exploitables. Il permet le développement des ressources minérales à travers une série d'étapes d'exploration, d'exploitation, de développement, de construction d'installations minières et de production d'éléments de valeur commerciale.

L'industrie minière produit une grande quantité de rejets miniers lors des opérations d'exploitation des gisements et du traitement de minerais. Ces rejets miniers sont stockés en général dans des haldes pour les stériles et dans des parcs de confinement pour les résidus de concentrateurs, et ce à même le site minier. Selon les conditions climatiques locales et la nature physico-chimique et minéralogique des rejets miniers, ceux-ci peuvent libérer des polluants inorganiques nocifs sur l'environnement dans lequel ils sont déversés. Au cours des dernières décennies, une fois l'exploitation minière terminée, la société minière doit commencer à planifier la restauration et la reconstruction de la zone minière et la gestion adéquate de ces rejets ont pris une importance croissante afin de surmonter le passif environnemental malheureusement catastrophique dans de nombreux pays du monde. Cette tradition n'est connue que dans les pays développés, où le gouvernement, conformément à une réglementation stricte, incite les sociétés minières à porter une attention particulière à la fermeture du site uniquement lorsqu'il est ouvert.

Les résidus miniers représentent souvent une double menace pour l'environnement, générateurs d'acide et source de métaux lourds.

La gestion des rejets miniers comporte plusieurs étapes [17] :

- Caractérisation des rejets miniers
- Traitement en cours d'opération (désulfuration environnementale)
- Stabilité des stériles
- Gestion des boues de traitements
- Revalorisation des rejets miniers
- Restauration des sites miniers, procédé multicouche
- Contrôle des flux d'eau
- Prédiction du drainage minier acide

Dans le cas de l'Algérie on distingue plusieurs sites miniers abandonnés et d'autres qui sont en cours d'exploitation. On compte actuellement en Algérie 1484 sites miniers sont actuellement en activité en plus de ces sites, 346 sites ont été octroyés mais dont les travaux n'ont pas encore été entamés, 78 en préparation, 556 à l'arrêt et 38 abandonnés [18]. Les sites abandonnés sont laissés sans aucun plan de restauration ou de réhabilitation. Sous l'effet des conditions climatiques et du contact avec les facteurs naturels de l'eau, de l'air et de température, ces rejets miniers ont produit une contamination des ressources en eau et de la faune et de la flore.

## **Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement**

### **II.2. LA DIRECTIVE 019**

La Directive 019 sur l'industrie minière est l'outil couramment utilisé pour l'analyse des projets miniers exigeant la délivrance d'un certificat d'autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement, ci-après appelée Loi. Elle est également utilisée pour les projets assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement.

Dans sa version de mai 1989, la Directive 019 a servi d'outil d'analyse pour l'autorisation et le contrôle environnemental des projets miniers. Elle énonçait les exigences auxquelles les projets miniers devaient se conformer et précisait les questions auxquelles devait répondre l'étude de répercussions environnementales.

#### **Objectifs**

La Directive 019 sur l'industrie minière vise les objectifs suivants :

Présenter les balises environnementales retenues et les exigences de base requises pour les différents types d'activités minières, de façon à prévenir la détérioration de l'environnement, fournir aux intervenants du secteur minier les renseignements nécessaires à l'élaboration de l'étude d'impact ou de répercussions environnementales préalable à une demande de certificat d'autorisation pour un nouveau projet ou à une demande de certificat d'autorisation pour la modification d'un projet existant.

### **II. 3 LES ELEMENTS DANGEREUX DANS LE PHOSPHATE NATUREL**

Le concentré de phosphate naturel, le minerai utilisé pour la production de phosphate, est un produit naturel ; ceci implique que ce n'est pas un phosphate de calcium pur, mais qu'il contient plusieurs autres substances en traces en quantités variables. Lorsque le minerai de phosphate est traité, une partie des substances reste présente dans les rejets phosphatés et par la suite entraîner des problèmes lors de stockage de ces produits. Ces substances sont alors considérées comme des contaminants. Parmi ces contaminants un certain nombre de métaux lourds jouent un rôle important ; ils ne sont que très difficilement séparables des phosphates, et leurs qualités chimiques et physiques sont telles qu'ils présentent un haut degré de toxicité pour l'homme et pour les écosystèmes de l'environnement [19]

Parmi les métaux lourds qui se trouvent présent dans les phosphates celles nommées métaux lourds essentiel (à faible dose) pour la croissance et le développement des êtres vivants tel que F e, Z n, M o et possible Ni. D'autres, ont l'aptitude à s'accumuler dans les organismes vivants, tel que Cr, Pb, Mn, Cu, Ba, Co et Ag qui ne trouvent pas d'emploi [20] Ils ne sont dégradé ni chimiquement, ni biologiquement, mais se concentrent au contraire dans le sol, puis dans toute la biosphère [21], et du mercure, le plus toxique de

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

cette famille ; mais heureusement il ne constitue pas un danger particulier dans les phosphates, car il présente un taux négligeable. Par contre le cadmium, se trouvant à la deuxième place dans le rang de la toxicité après le mercure, et peut rendre le minerai impropre à un usage agricole.

Par ailleurs, l'uranium accompagne dans la plupart du temps les phosphates sédimentaires quelle que soit leur localisation géologique. Il est présent à faible teneur, quelque centaine de ppm, et peut être récupéré à l'occasion de la fabrication d'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ). Ainsi, depuis une vingtaine d'années, 12 pour cent de l'uranium utilisé dans le monde provenait du traitement des phosphates. On peut rencontrer aussi dans les phosphates du thorium (Th).

Comme les éléments nuisibles dans le phosphaté ne dépassent pas les teneurs données comme le montre le tableau 4 :

**Tableau.4 :** Concentration acceptable des éléments dans le phosphate [22]

Paramètre	Concentration moyenne mensuelle acceptable mg /L
l'uranium(U)	1,4
plomb(Pb)	0,2
chrome(Cr)	1
cadmium(Cd)	0,001
mercure(Hg)	30,10-6

Le tableau suivant montre les résultats d'une analyse chimique des éléments potentiellement dangereux dans certains échantillons de phosphate sédimentaires.

**Tableau.5:** Analyse chimique des éléments potentiellement dangereux dans des phosphates naturels sédimentaires [23]

Pays	Dépôt	Réactivité	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As	Cd	Cr	Pb	Se	Hg	U	V
			(%)	(mg/kg)						(µg/k g)	(mg/kg)
Algérie	Djebel Onk	Elevée	29,3	6	13	174	3	3	61	25	41
Burkina Faso	Kodjari	Faible	25,4	6	< 2	29	< 2	2	90	84	63
Chine	Kaiyang	Faible	35,9	9	< 2	18	6	2	209	31	8
Etats-Unis	Floride Centrale	Moyenne	31,0	6	6	37	9	3	371	59	63
Etats-Unis	Caroline du Nord	Elevée	29,9	13	33	129	3	5	146	41	19
Inde	Mussoorie	Faible	25,0	79	8	56	25	5	1 672	26	117
Jordanie	El Hassa	Moyenne	31,7	5	4	127	2	3	48	54	81

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

Mali	Tilemsi	Moyenne	28,8	11	8	23	20	5	20	123	52
Maroc	Khouribga	Moyenne	33,4	13	3	188	2	4	566	82	106
Niger	Parc W	Faible	33,5	4	< 2	49	8	< 2	99	65	6
Pérou	Sechura	Elevée	29,3	30	11	128	8	5	118	47	54
République Arabe Syrienne	Khneifiss	Moyenne	31,9	4	3	105	3	5	28	75	140
République unie de Tanzanie	Minjingu	Elevée	28,6	8	1	16	2	3	40	390	42
Sénégal	Taiba	Faible	36,9	4	87	140	2	5	270	64	237
Togo	Hahotoe	Faible	36,5	14	48	101	8	5	129	77	60
Tunisie	Gafsa	Elevée	29,2	5	34	144	4	9	144	12	27
Venezuela	Riecito	Faible	27,9	4	4	33	< 2	2	60	51	32

Parmi les métaux lourds dangereux dans les engrais phosphatés, le cadmium est probablement l'élément le plus recherché, en raison de la toxicité potentiellement élevée pour la santé humaine des aliments qui proviennent de cultures fertilisées avec des engrais phosphatés contenant une quantité significative de cadmium.

La plupart des phosphates ont également des concentrations élevées en fluor (F) dans les minéraux d'apatite, excédant souvent 3 pour cent en poids (250g de F par kilogramme de phosphate). L'absorption excessive de fluor a été impliquée comme entraînant des dommages aux animaux en pâture du fait de la fluorose.

Certaines sources de phosphate peuvent contenir une quantité significative d'éléments radioactifs quand on les compare à d'autres phosphate, par exemple 390 mg d'uranium sont contenus par kilogramme de phosphate de Minjingu (République unie de Tanzanie) contre 12mg d'uranium par kilogramme de phosphate de Gafsa (Tunisie) (Tableau II.2). Comme le phosphate de Minjingu est fortement réactif et ergonomiquement et économiquement adapté pour l'application directe aux sols acides pour la production agricole, des questions se sont posées sur la sécurité d'emploi de ce phosphate.

### Toxicité du cadmium

Une source importante d'émission de cadmium est la production de fertilisants non naturels à base de phosphate. Une partie du cadmium se retrouve dans le sol après que le fertilisant ait été appliqué sur les terres agricoles et le reste du cadmium se retrouvent dans les eaux. Le cadmium peut être transporté sur de longues distances lorsqu'il est absorbé par les boues. Ces boues riches en cadmium peuvent polluées aussi bien les eaux de surface que les sols.

## **Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement**

Le cadmium est fortement absorbé par les matières organiques dans les sols. Quand le cadmium est présent dans les sols cela peut être extrêmement dangereux, car la consommation par l'intermédiaire de la nourriture va augmenter. Les sols acidifiés amplifient la consommation de cadmium par les plantes. C'est un danger potentiel pour les animaux qui dépendent des plantes pour survivre. Le cadmium peut s'accumuler dans leur organisme. Les vaches ont des quantités importantes de cadmium dans leurs reins de ce fait. Les vers de terre et autres organismes essentiels du sol sont extrêmement sensibles à l'empoisonnement au cadmium. Ils peuvent mourir avec de très faibles concentrations et ceci a des conséquences pour la structure du sol. Quand les concentrations en cadmium dans le sol sont importantes, elles peuvent influencer les processus des micro-organismes du sol et menacer tout l'écosystème du sol. Dans les écosystèmes aquatiques le cadmium peut être bio accumulé dans les moules, les huîtres, les crevettes, les langoustines et les poissons. La sensibilité au cadmium peut varier entre les organismes aquatiques. Les organismes des eaux salées sont connus pour être plus résistants à l'empoisonnement au cadmium que les organismes d'eau [24].

### **Toxicité de l'uranium**

L'uranium est à la fois un toxique radioactif et chimique. A l'extérieur du corps, l'uranium naturel ne représente qu'un danger mineur à cause de son rayonnement gamma relativement faible (sauf en cas d'exposition prolongée). Une fois inhalé ou ingéré, il peut augmenter les risques de cancer du poumon ou des os à cause de ses émissions alpha. Les produits de filiation de l'uranium 238 représentent des dangers supplémentaires. Le thorium 234 se désintègre sur place alors que le thorium 230 a tendance à s'accumuler dans les os. Le polonium se diffuse aussi bien dans les tissus mous que dans les os. Le radium est semblable au calcium et s'accumule à la surface des os et plus tard dans la matrice de la structure osseuse. Le radium est dangereux en cas d'ingestion. Il est identifié comme un agent responsable du cancer des os ainsi qu'on l'a découvert dans les années 20.

Le minerai dans lequel on trouve l'uranium renferme également des métaux lourds toxiques non radioactifs. Ceux-ci varient de site en site mais peuvent inclure l'arsenic, le plomb, le molybdène et le manganèse.

### **II.4. Méthodes de gestion de différents rejets de l'industrie minière**

Compte tenu des altérations causées par les rejets miniers produits en continu, il est obligatoire de remédier à cette problématique, et procéder par une gestion contrôlée, afin de limiter les impacts environnementaux engendrés. En raison des différents incitatifs réglementaires et économiques, il est devenu de première importance de trouver des solutions pour la réutilisation et la valorisation des rejets miniers. En effet, on distingue des méthodes de gestion des rejets miniers qui se font sur même le site minier et d'autres en dehors du site minier dépendamment des

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

propriétés de chaque type de rejet. Les différentes méthodes de gestion de ces différents types de rejets miniers sont présentées dans le Tableau 6.

**Tableau 6** Méthodes de gestion de différents rejets de l'industrie minière.

Stériles	Rejets de concentrateur	Boues UTAE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construction de digues et de chemins</li> <li>- Inclusion de stériles dans les parcs à résidus</li> <li>- Remblai rocheux des chantiers souterrains</li> <li>- Restauration de sites miniers</li> <li>- Comblement des fosses à ciel ouvert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Désulfuration environnementale</li> <li>- Remblais hydrauliques</li> <li>- Remblais en pate cimentée</li> <li>- Composante de recouvrements</li> <li>- Déposition dans les fosses</li> <li>- Composante de béton</li> <li>- Retraitement et récupération des valeurs économiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valorisation dans les recouvrements (amendements)</li> <li>- Recyclage dans le remblai en pate</li> <li>-Extraction de métaux</li> </ul>

### II.4.1 Désulfuration environnementale

La présence simultanée d'eau, d'air et de sulfures est à la base du drainage minier acide. La prévention de cette production d'acide consiste à garantir l'absence d'une de ces trois composantes. Plusieurs méthodes permettent un contrôle sur la nocivité des rejets parmi lesquelles on peut citer :

- Les couvertures aqueuses : elles empêchent l'oxygène d'atteindre les résidus. Elles représentent l'entreposage des résidus dans des sortes de lacs naturels ou artificiels (constructions de digues) ;
- Une couverture multicouche : elle prévient l'infiltration de l'oxygène dans les rejets. En effet, la couche médiane reste saturée grâce à un effet de barrière capillaire. La diffusion de l'oxygène dans l'eau étant négligeable, elle favorise la protection du tas de résidus sulfureux sous jacent ;
- La neutralisation des effluents liquides et la précipitation de leur charge chimique sous forme de boues : ces boues sont ensuite récupérées et entreposées.

Toutes ces techniques souffrent de leurs coûts très importants et du fait que l'opérateur se doit d'un suivi à vie pour ce qui est du site. La technique de désulfuration a été proposée récemment pour son efficacité et ses coûts comparables ou relativement bas. De plus, elle permet à l'opérateur une rétrocession du site au gouvernement. Cette technique consiste à retirer les minéraux sulfurés du restant des minéraux. Une optimisation, connaissant le potentiel de neutralisation du résidu minier, permet de séparer juste ce qu'il faut comme quantité de minéraux cido-gènes. Le restant sera bien sûr compensé par la présence des minéraux acidivores. C'est ce qu'on appelle la désulfuration environnementale [17].

## **Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement**

### **II.4.2 Remblais**

Les opérations minières perturbent/modifient le paysage, y compris l'accumulation de déchets miniers à la surface et la formation de fosses. Le Règlement sur les certificats d'hygiène industrielle impose des taxes sur les déchets miniers stockés en surface. Le remblayage peut réduire la quantité de matériau de surface, tout en utilisant les matériaux disponibles pour améliorer la stabilité physique de la structure et réduire le risque de pollution de l'environnement. Il existe deux types de remblayage : le remblayage souterrain et le remblayage de fosses. [25]

#### **II.4.2.1 Remblai souterrain**

L'objectif principal de remblayage souterrain est de stabiliser les galeries pour récupérer les piliers. Il existe trois types de remblais soit le remblai rocheux, le remblai hydraulique et le remblai en pâte cimenté.

Le remblai rocheux se former par de stériles miniers, parfois mélangés avec une pâte cimentaire lorsqu'il faut obtenir une résistance particulière. Le transport se fait par des camions ou des convoyeurs jusqu'aux chantiers souterrains.

Le remblai hydraulique est constitué de rejets de concentrateurs, d'eau et de liants hydrauliques. Les roches sont transportées via des conduites.

Le remblai en pâte cimentée est le type de remblai le plus utilisé pour les mines souterraines C'est une mixture constituée de résidus de concentrateurs préalablement densifiés avec une teneur en solide entre 75 % et 85 %. Des liants hydrauliques sont ajoutés au mélange dans le but de produire la cohésion lors de la cimentation. Ajoutez ensuite une petite quantité d'eau pour atteindre une concentration en solides de 70 à 80 %. Le rapport de chaque composant dans le mélange est important pour obtenir une stabilité chimique et physique à long terme.

#### **II.4.2.2 Remblai en fosse**

Le remblayage de la fosse vise à utiliser l'espace formé lors des opérations minières à ciel ouvert pour stocker les résidus miniers. Cette méthode peut être exécutée séquentiellement lorsqu'il y a plus d'une fosse dans la mine ou à la fin de l'opération pendant l'opération. Dans le premier cas, les résidus miniers sont utilisés pour remplir l'ancienne fosse avec les matériaux de la fosse d'exploitation. Dans le second cas, vous devez attendre la fin de l'opération d'extraction.

Le remblayage des fosses permet de réduire les coûts de fermeture en utilisant une structure de confinement existants sur le site, réduisant ainsi le risque d'instabilité, car il n'y a plus de barrages. Un autre objectif de cette technologie est de couvrir et d'inonder en permanence les résidus afin de minimiser le risque d'oxydation à long terme. Les fosses remblayées sont cependant connectées aux écoulements d'eaux de surface et souterraines et il pourrait y avoir des impacts potentiels sur l'eau consommée par la population, la vie aquatique, la vie sauvage environnante ainsi que sur les activités récréatives si une contamination survient.

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

### II.4.3 Densification

La quantité d'eau requise dans les étapes de la gestion conventionnelle des rejets de concentrateur est un enjeu dans certaines régions du monde lorsque le climat est aride, la technique de densification des résidus permet de répondre en partie à ces enjeux. En retirant une partie de l'eau des résidus, leurs propriétés mécaniques (densité, résistance au cisaillement) augmentent.

Il existe plusieurs niveaux de densification des résidus. Les trois catégories de densification les plus communes sont les rejets épaissis (Thickened tailings), les résidus en pâte (Paste tailings) et les résidus filtrés (Filtered tailings) [25].

#### II.4.3.1 Rejets épaissis

L'épaississement des résidus consiste à augmenter la teneur en solides autour de 45 à 70 %, le but premier de cette technique est d'améliorer leur comportement géotechnique. Après épaississement,

Le résidu ressemble plus à un fluide visqueux qu'à des particules en suspension dans une solution. L'homogénéité et la densité des résidus épaissis sont plus élevées que les résidus conventionnels.

Les résidus sont épaissis au moyen d'épaississeurs dont le diamètre varie de quelques mètres à plus de 100 mètres de diamètre, Les résidus Après cela sont pompés vers les lieux d'entreposage. Les résidus épaissis ont une vitesse d'écoulement critique, mais ne se séparent pas lors de la sédimentation. Les résidus épaissis peuvent être déposés à partir des digues ou des tours centrales afin de Former une structure conique. La pente résultante varie entre 0,5 % et 4 %, mais pour les résidus épaissis, elle est habituellement d'environ 3 %.

#### II.4.3.2 Résidus en pâte

La technique de la déposition en surface des résidus en pâte est inspirée des remblais souterrains développés dans les années 1970. Les résidus en pâte sont denses, ne séparent pas pendant les pauses. Les épaississants à haute densité sont généralement utilisés pour augmenter la concentration en solides à l'environ 60 à 70 %. Ensuite le matériau transporté vers une autre structure pour qu'une certaine quantité d'eau soit ajoutée pour obtenir la consistance désirée.

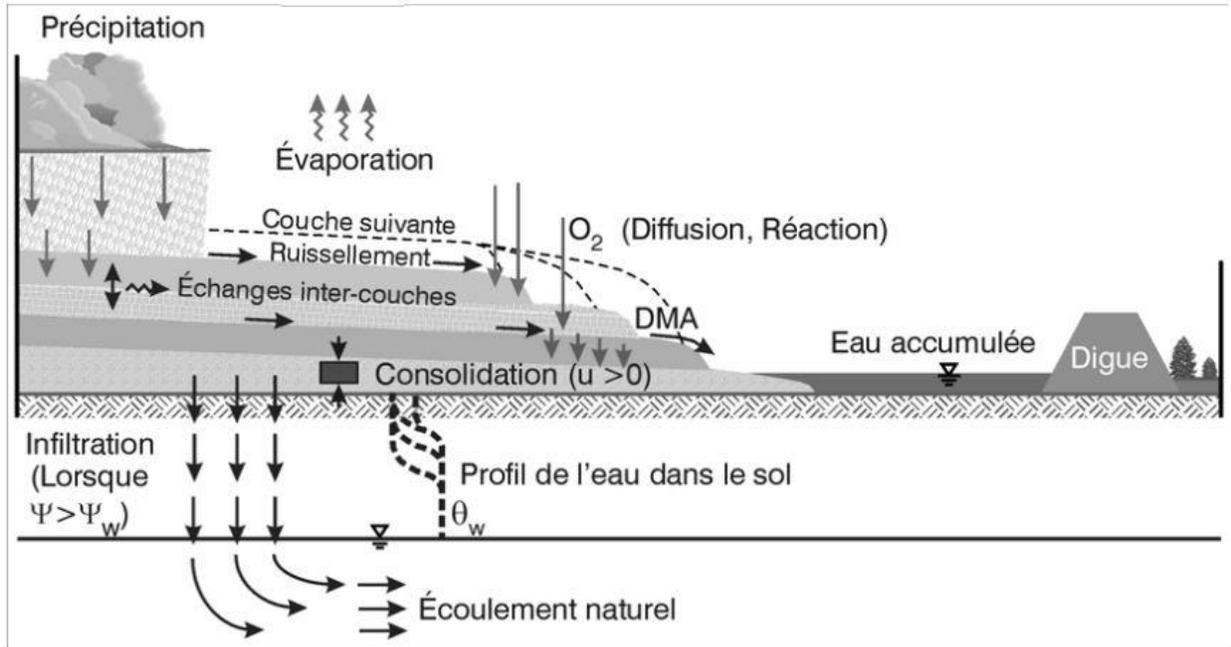


Figure 16. Schéma montrant la coupe d'un bassin de résidus en pâte [26]

### II.4.3.3 Résidus filtrés

Les résidus filtrés sont une bonne solution pour les mines de petite ou de moyenne taille. Pour les grandes mines de cuivre, l'adoption de cette technologie dépend du coût de l'énergie et de l'important coût lié au fait de trouver des terrains supplémentaires pour l'aménagement des installations nécessaires.

La technologie a été développée pour réduire le risque de liquéfaction et comme solution pour transporter les résidus dans les climats très froids. C'est le type de résidus ayant la plus grande concentration solide des trois techniques présentées.

Le résidu de rejet peut être filtré en appliquant une pression élevée ou sous vide. La structure qui est nécessaire pour éliminer une si grande quantité d'eau comprend des filtres à tambour, des plaques de compression empilées verticalement ou horizontalement et bande filtrante. La filtration par pression s'applique pour une variété de matériaux via un système de filtres à bande sous vide, le processus est divisé en plusieurs étapes et l'eau est progressivement évacuée.

La distribution granulométrique et la minéralogie des résidus impactent la filtration. Par conséquent, la technologie de filtration doit pouvoir s'adapter aux changements de production minière tout en limitant l'impact économique.

Les résidus qui sortent des procédés de filtration sont déposés puis étendus et compactés sur la surface et forment un empilement non saturé, dense et stable de résidus.

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

Les avantages généraux de cette méthode comprennent le recyclage de l'eau, le recyclage des agents de procédés et maximiser la densité des résidus dans la zone de stockage et réduire le risque d'instabilité de des ouvrages de retenue.

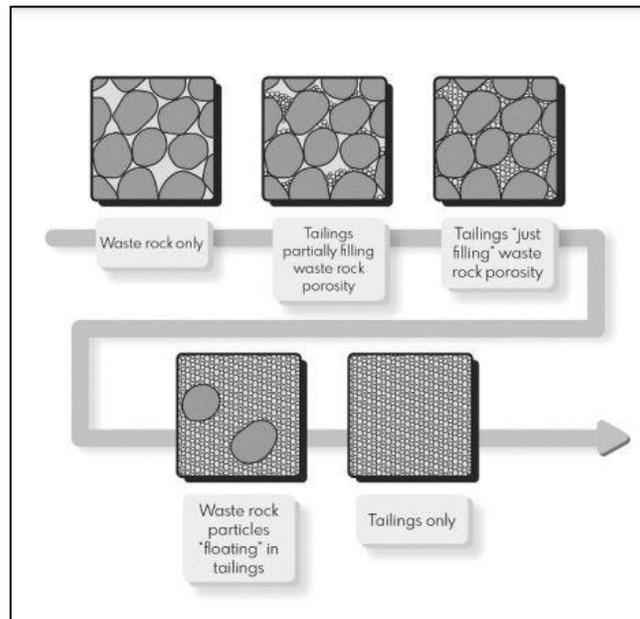
### II.4.4 Co-disposition

La co-disposition, c'est-à-dire que les stériles et les rejets de l'usine d'enrichissement sont empilés en même temps. Les trois grandes méthodes de codisposition sont:

- Les mélanges comme amalgames homogènes de résidus et de stériles miniers.
- La déposition en couche alternée.
- L'inclusion de roches stériles qui permet de compartimenter l'intérieur des ouvrages de retenues

#### II.4.4.1 Mélanger

Le mélange de résidus de concentrateurs et de stériles miniers est réalisé avant la déposition dans l'aire d'entreposage. L'ajout de résidus aux stériles vient réduire le transport de l'oxygène et de l'eau. Le mélange idéal sera celui qui contient la quantité de résidus nécessaire pour tout juste remplir les espaces vides entre les stériles miniers.



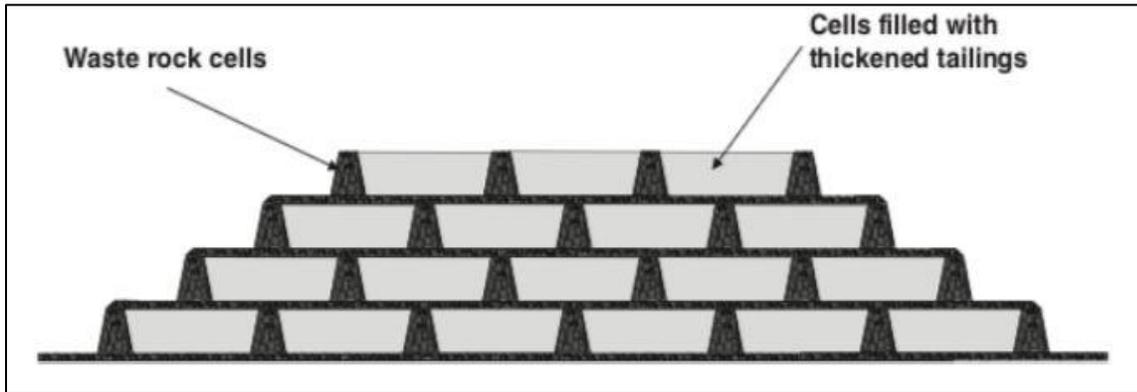
**Figure 17.** Différents niveaux de mélanges de stériles miniers et de résidus de concentrateur (tiré de : Demers et Pabst, 2020, p.333)

#### II.4.4.2 Déposition en couche alternée

La déposition en couche alternée consiste à déposer chaque matériau l'un après l'autre, Contrairement au mélange où les résidus sont préalablement mélangés avant d'être disposés.

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

La disposition des couches horizontales de résidus se fait dans des cellules d'une épaisseur de quelques mètres. La taille de chaque unité de cellule stériles est déterminée en fonction des besoins du site. Lorsque l'unité est pleine de déchets, une couche de stériles peut être ajoutée. Ajouter une autre rangée de résidus sur le dessus. Cette technique offre une meilleure stabilité physique.

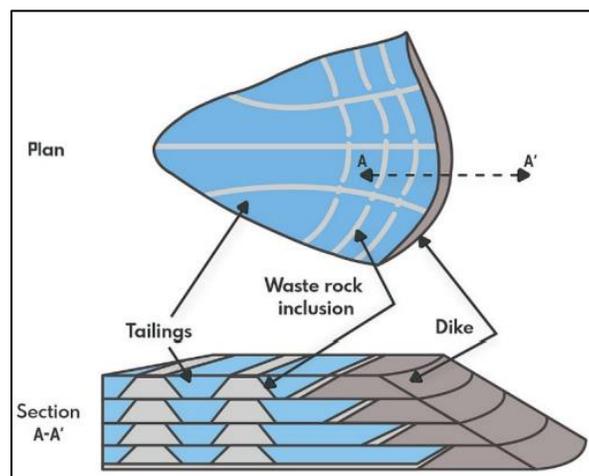


**Figure 18.** Cellules de stérile minier contenant des résidus densifiés (tiré de : Wilson, 2017, p.274)

### II.4.4.3 Inclusions de roches stériles

Au fil du temps, le résidu se solidifiera, augmentant ainsi la densité interne et la résistance au cisaillement. Mais cette consolidation est lente et se poursuit souvent après la fin des opérations. La disposition coordonnée des stériles dans les parcs à résidus peut accélérer la consolidation. L'aire d'entreposage se retrouve donc divisée en cellule ce qui réduit également les conséquences d'éventuelles défaillances.

La technique des inclusions de roches stériles consiste à placer des drains linéaires de roches stériles dans le parc au fur et à mesure des rehaussements successifs.



**Figure 19.** Structure d'un ouvrage comportant des inclusions de roches stériles (tiré de : Demers et Pabst, 2020, p.335)

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

### II.4.5 Les couts de gestion et de réhabilitation des rejets miniers

Plusieurs méthodes de gestion de rejets miniers ont été développées récemment, surtout dans les pays développés ou les réglementations environnementales sont très sévères.

Les coûts unitaires varient de 17 k\$/ha, pour les cas les moins complexes, et de 30 à 100 k\$/ha pour les cas de barrière à l'oxygène, et jusqu'à plus de 200 k\$ pour les cas d'encapsulation. Les coûts associés à la restauration des sites générateurs de DNC sont de l'ordre de 70 k\$/ha.

C'est dans ce sens qu'une valorisation potentielle de ces rejets miniers en dehors du site minier présente une solution incontournable pour contribuer à une gestion durable et respectueuse de l'environnement. [8]

### II.4.6 Valorisation des rejets miniers

La valorisation des rejets miniers se fait majoritairement sur le site d'exploitation, mais dans certaines régions du monde, l'utilisation des rejets pour la fabrication de matériel de construction est une pratique courante. Cette valorisation s'explique par le manque de matériel de construction. Certains risques comme la contamination par les métaux, le drainage minier acide et la crainte du public face à cette pratique constituent un frein à son développement.

Cette voie de restauration peut être une solution écologique possible. Il peut non seulement réduire les émissions Exploiter tout en protégeant les ressources naturelles (argile, sable, granulats, Etc.) consommées dans les constructions.

Tous les déchets miniers ne sont pas réutilisables, une caractérisation approfondie est généralement utilisée pour statuer sur la méthode de gestion appropriée des rejets miniers. C'est pour le classement Ces estimations basées sur le potentiel de production d'électricité sont publiées à l'avance acidité. Tests statiques et dynamiques et modèles de prédiction numérique Utilisé souvent. [8]

Les études sur la valorisation des rejets ont montré qu'un taux des rejets du procédé de cuivre de 60% substituant au sable naturel pour la confection du béton normal a été jugé optimal et les matériaux du béton ont des propriétés de résistance mécanique et de durabilité acceptable.

En Chine, des briques de bonne qualité ont été confectionnées en utilisant jusqu'à 84% des résidus d'hématite.

D'autres études ont montrés la faisabilité d'utilisation des boues d'ilménite pour la fabrication des matériaux céramiques, l'utilisation de la boue comme additif (3-10%) améliorer les propriétés de frittage et augmentant la résistance mécanique (jusqu'à 15%) et réduire la porosité et l'absorption d'eau (jusqu'à 50%).

## Chapitre II : Industrie minière et ses impacts sur l'environnement

### II.4.7 Défis de réutilisation des rejets miniers

Il existe deux grands défis :

- 1- L'acceptabilité sociétale de l'idée d'utilisation des rejets miniers. Nous avons encore un long chemin à parcourir pour que Le gouvernement et les citoyens acceptent de mettre les déchets miniers dans leur Loger.
- 2- Défis techniques, le besoin de collecte, de transport, de tri et de temps de prétraitement des rejets est également l'un des principaux enjeux Produit. Certes, il est impossible d'utiliser tous les déchets en construction, car leur nombre est estimé à des millions de tonnes

### II.4.8 Utilisation des déchets comme matières alternatives dans la fabrication de briques cuites

Beaucoup d'études ont été menées sur l'ajout de déchets miniers (rejets de phosphate, résidus de bacs de pétrole brut) ou tout autre type de déchets (grignon d'olive et foin) a la fabrication de brique.

Selon le Catalogue Européen des Déchets, les déchets sont classés selon leur nature et leur provenance. Et en fonction de leur rôle de matériaux alternatifs pour la fabrication de briques cuites. En général, les déchets classés selon EWC (2002) dans les catégories EWC; codes 01, 10 et 19 sont les plus utilisés la fabrication de briques cuites. [8]

EWC 01 est généré à partir de déchets exploration, exploitation minière ou traitement physique et chimique des minéraux. EWC 10 est un déchet des procédés thermiques : centrales électriques et autres équipements de combustion utilisés pour produire de l'aluminium de fer et d'acier, de plomb et de zinc (pyrométallurgie). EWC 19 est un déchet Installations de gestion des déchets, stations d'épuration et Préparation de l'eau humaine et de l'eau industrielle Par exemple, les boues d'épuration ou les cendres provenant de l'incinération des boues d'épuration. [27]

### Conclusion

L'industrie minière est mondialement critiquée pour la génération de grandes quantités de rejets miniers solides et liquides ayant souvent un impact négatif sur l'environnement. Leur réutilisation comme matière première alternative dans les matériaux de construction ou dans les terres cuites est une solution environnementale prometteuse.

# Chapitre 03

### III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre traite Les différents étapes de préparations de nos échantillons, commençant par l'échantillonnage jusqu'aux analyses physico-chimiques des matériaux utilisés dans la fabrication de la brique ainsi que les rejets phosphatés. Nous avons commencé notre caractérisation par l'analyse granulométrique, suivie par les analyses minéralogiques (diffraction des rayons X (DRX) et la spectroscopie de l'absorption atomique (SAA), la fluorescence X (FX) et la spectroscopie Infrarouge (IR)).

### III.2. LES METHODES D'ANALYSE DES MATIERES PREMIERES ET PRODUITS FINIS

#### III.2.1. Méthode de prélèvement des échantillons

Les échantillons des rejets phosphatés (+15mm, +2mm et +1mm) ont été prélevés aux stocks de la chaîne du traitement. Ils nous ont été fournis par l'entreprise d'exploitation de Fer et de phosphate (FERPHOS). L'échantillon de l'argile a été prélevé sur le stock des argiles de la briqueterie d'Oud Rmila.

#### III.2.2. Préparation mécanique

Les échantillons bruts issus des trois sous couches mentionnées précédemment nous ont été livrées par l'entreprise d'exploitation de ce matériau « SOMIPHOS ». Toutefois, la mesure des caractéristiques d'un matériau nécessite la présence d'un échantillon, le plus représentatif possible, d'un lot de matière dont il est issu en plus de sa forme permettant d'effectuer les analyses et les contrôles requis.

Le minerai tout-venant est soumis à un traitement mécanique qui consiste en des opérations d'homogénéisation, de concassage, de quartage et de tamisage.

Le minerai tout-venant subit un concassage jusqu'à 2 mm, une homogénéisation et ensuite une série de quartage jusqu'à l'obtention d'un échantillon de base (0 - 2 mm).

- Les différentes classes granulométriques obtenues après séparation par tamisage à voie sèche (de 100 à 2000  $\mu\text{m}$ ) a été réalisé à l'aide d'une tamiseuse vibrante de marque FRITSCH AS 200. Elle est équipée d'une série de tamis de norme SAULAS. Le temps de tamisage est fixé à 30 minutes.
- Le broyage (< 100  $\mu\text{m}$ ) a été réalisé sur un broyeur à mâchoires de marque FRITSCH, RM200. Les conditions de broyage utilisées sont : temps de broyage 10 à 15 minutes et vitesse de rotation 200 Tr/minute.

En se basant sur les études antérieures. Sur ce type de minerai, nous avons limité la durée de tamisage à 10 ou 15 minutes pour éviter que l'erreur due à l'effet de broyage (attrition) soit importante.

### III.2.1.1. Analyse granulométrique

Analyse granulométrique par tamisage est l'ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant l'échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

### III.2.1.2 But de l'essai

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains qui composent les agrégats. La taille est choisie entre 0,063 et 125 millimètres.



**Figure.20** Tamiseuse (laboratoire LTMGP université Bejaia).

### III.2.2.1 La spectrométrie d'absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une technique d'analyse qualitative et quantitative très précise et particulièrement sensible utilisée pour la détermination de la concentration des minéraux en solution qui peuvent être utilisés pour mesurer les concentrations d'environ 70 éléments. [28]

### III.2.2.2. Principe de l'absorption atomique

L'échantillon est réduit en vapeur atomique.

- Les atomes à l'état fondamental absorbent le rayonnement spécifique.
- L'absorbance est proportionnelle à la quantité d'atomes de l'élément à doser. En SAA, on obtient les vapeurs atomiques par :
  - Atomisation par nébulisation dans une flamme
  - Atomisation électrothermique [28]

### III.2.2.3. Appareillage

Un spectrophotomètre d'absorption atomique comprend généralement une source lumineuse, un atomiseur (générateur d'atomes), un monochromateur, un détecteur. [28]



**Figure.21** Schéma de spectromètre d'absorption atomique

### III.2.3.1. Préparation des l'échantillons

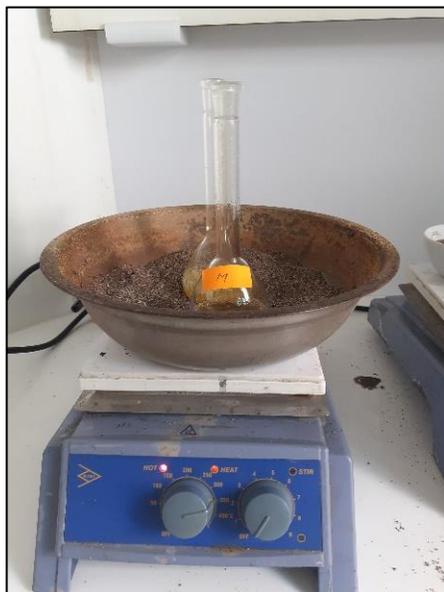
Pour déterminer la composition des échantillons à analyser, il est nécessaire de la mise en solution

### III.2.3.2. Les modes opératoires

Les matériaux de base utilisés, sont le rejet de phosphate et l'argile.

On prépare la mise en solution

- Mettre l'échantillon dans une fiole de 100ml puis on ajoute une quantité de l'eau distillée a l'échantillon ;
- Ajoutez 30ml de HCl concentré et 10 ml de HNO<sub>3</sub> ;
- On met sur une plaque chauffant pendant 48 heure ;
- Filtre les échantillons à l'aide d'un papier filtre ;



**Figure.22** l'échantillon M sur la plaque chauffant **Figure.23** filtrations avec papier filtre

### III.2.3.4. La fluorescence X (XRF)

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire complète. Identifier et déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technologie peut être utilisée pour une variété de matériaux : minéraux, Céramique, ciment, métal, huile, eau, verre... sous forme solide ou liquide. Il permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) la concentration varie de quelques ppm à 100 %, le résultat Précis et surtout reproductible.

Le principe de cette méthode est de bombarder le matériau à analyser avec un atome. Le faisceau de rayons X, qui provoque une émission secondaire de rayons X. Le spectre de rayons X émis montre les pics caractéristiques des différents éléments existe dans l'échantillon. [29]

### **III.2.5. Diffraction des rayons X (DRX)**

La Diffraction des Rayons X (DRX) est une technique d'analyse qui permet d'étudier les différentes phases de matières et matériaux cristallins.

La diffraction des rayons X (XRD) donne accès à une multitude d'informations contenues dans l'agencement des éléments au sein d'un matériau. Par conséquent, l'analyse qualitative par diffraction des rayons X (DRX) permet d'identifier les composés cristallins et leurs formes cristallines présentes dans le matériau.

### **III.2.6. Analyse par Spectrométrie Infrarouge**

La spectrophotométrie infrarouge est une technique analytique qui consiste à placer un échantillon sous rayonnement infrarouge. Les molécules organiques exposées à ce rayonnement absorbent ce rayonnement en modifiant leur énergie vibratoire. Selon les types et les fonctions chimiques des liaisons présentes dans le milieu, les caractéristiques du spectre infrarouge de l'échantillon ou de sa surface analytique peuvent être obtenues.

### **III .2.7 les limites d'Atterberg**

Les teneurs en eau qui délimitent les états de consistance d'un sol sont appelées limites de consistance ou limites d'Atterberg. Ces limites, qui s'expriment en pourcentage, sont la limite de plasticité et la limite de liquidité. Elles servent à identifier et à classer les sols fins dont les particules sont invisibles à l'œil. Elles fournissent des informations complémentaires à celles obtenues par la granulométrie laser et la sédimentométrie. La limite de plasticité d'un sol PL est la teneur en eau qui sépare l'état plastique de l'état semi-solide.

#### **a) Limite de liquidité**

Par définition, la limite de liquidité WL est la teneur en eau (exprimée en %) d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état liquide (le sol est humide et déformable) et un état plastique qui correspond à une fermeture en 25 coups.

Matériels :

- Un appareil de casagrande.
- Une étuve
- Une balance



**Figure.24** Appareil de casagrande ; Balance

**b) Limite de plasticité**

Par définition, la limite de plasticité WP est la teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide. A partir de ces définitions, on peut déterminer un autre paramètre qui est :

Indice de plasticité noté : **IP= WL-Wp**

**III.3. Les essais mécaniques**

**III. 3.1. L'essai de flexion**

L'essai de flexion trois points est le plus largement utilisé pour déterminer la rigidité et Résistance à la flexion des matériaux composites. Le test est facile à réaliser et Bonne reproductibilité. Contrairement aux essais de traction ou de compression, il permet Surmonter le problème de collage au talon (glissement dans les mors) ainsi que les problèmes d'alignements.

Nous appliquons une charge F progressive sur la face supérieure de notre échantillon jusqu'à la rupture du prisme afin d'obtenir la charge de rupture à partir de laquelle on peut calculer la résistance à la flexion à l'aide de la formule :

$$Rf = \frac{1.5 \times Fl \times p}{H^3}$$

Rf : est la résistance à la flexion ;

F : est la force appliquée en N ;

P : Longueur qui sépare les deux appuis égale à 100mm ;

H : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

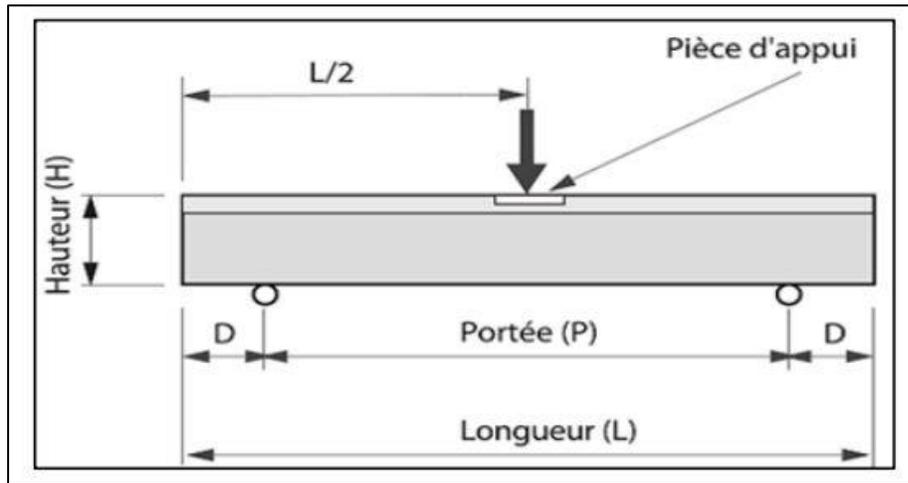


Figure.25 Essai de flexion



Figure.26 Essais de flexion (Laboratoire cimenterie Ain-kebira)

### III. 3.2. Essai de compression

#### II. 3.2.1. Principe

L'objet de cet essai est de déterminer la résistance nominale en compression simple des blocs de terre crue compressée. Il s'agit de soumettre un échantillon constitué de deux demi-blocs superposés et collés par un joint de mortier de terre à une compression simple jusqu'à la rupture.

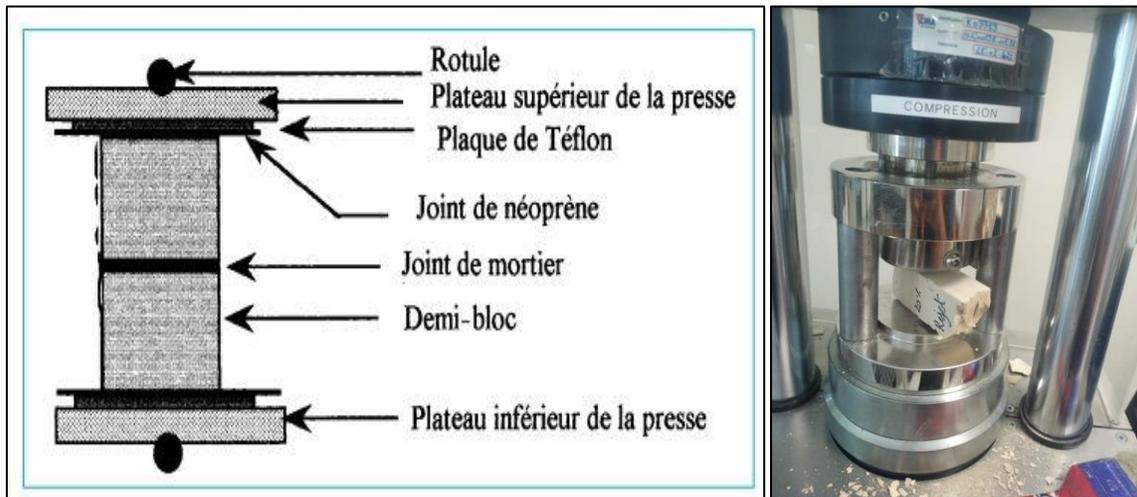
### III. 3.2.2. Mode opératoire

– Couper les blocs en deux

Les superposer et les coller par une fin jointe de mortier (1 cm max.) en les humidifiant légèrement.

– Laisser sécher l'éprouvette 2 à 3 jours à température ambiante.

– Placer une membrane de Néoprène graissée sur une plaque en Téflon et disposer le tout sur le plateau inférieur de la presse (cet ensemble constitue un système anti-frettage qui autorise les déplacements transversaux libres de l'échantillon). (Figure.27)



**Figure.27** Essai de compression **Figure.28** Essai de compression (Laboratoire cimenterie Ain-Kbira)

# Chapitre 04

### **IV.1 Introduction**

Le complexe minier de Djebel Onk est critiqué pour la génération de grandes quantités de rejets phosphatés solides ayant souvent un impact nocif sur l'environnement. Leur réutilisation comme matière première alternative dans la fabrication des terres cuites est une solution environnementale prometteuse. Le but de ce travail est de proposer des solutions pour la gestion des rejets miniers en dehors de leur site minier de provenance. Ce travail contribue à l'amélioration des connaissances scientifiques quant à l'application des principes de l'écologie industrielle dans un contexte minier.

L'objectif principal de ce chapitre est de proposer des solutions fiables pour la fabrication de briques cuites à partir de deux types de produits : les rejets phosphatés de Djebel Onk (+15mm, +2mm et +1mm) et les Argiles de Oued Remila. Dans ce contexte, plusieurs méthodes et techniques d'analyses qualitatives et quantitatives sont utilisées. Il s'agit de la diffraction des rayons X (XRD), la spectrométrie infrarouge (IR),... etc.

### **IV. 2. PRÉPARATION DES ECHANTILLONS ET CARACTERISATION DU REJETS PHOSPHATE ET DE L'ARGILE**

Les échantillons des rejets phosphatés (+15mm, +2mm et +1mm) ont été prélevés aux stocks de la chaîne du traitement. Ils nous ont été fournis par l'entreprise d'exploitation de Fer et de phosphate (FERPHOS). L'échantillon de l'argile a été prélevé sur le stock des argiles de la briqueterie d'Oud Rmila.

Les échantillons des rejets phosphatés et l'argile sont soumis à une préparation mécanique au laboratoire pour réduire les dimensions des grains d'une part et aboutir à des échantillons représentatifs d'autre part. Il s'agit de l'homogénéisation, concassage, du quartage et du broyage.

#### **IV. 2. 1 Analyses granulométriques**

Le classement dimensionnel sert à déterminer la distribution pondérale des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. Le classement dimensionnel du produit obtenu après traitement mécanique a été réalisé par la méthode de tamisage en voie sèche à l'aide d'une tamiseuse vibrante sur une série de tamis d'ouvertures allant de 0 à 2 mm.

Les différentes classes granulométriques obtenues après séparation par tamisage subiront un broyage jusqu'à des dimensions inférieures à 100  $\mu\text{m}$ , pour faciliter les attaques chimiques lors des traitements postérieures.

En se basant sur les études antérieures (Larouci, 1988 et Hamdadou, 1996) sur ce type de minerai, nous avons limité la durée de tamisage à 10 ou 15 minutes pour éviter que l'erreur due à l'effet de broyage (attrition) soit importante.

## CHAPITRE IV : Résultats de la caractérisation et interprétations

Les tableaux 7 et 8 et les figures 30 et 31 illustrent les pourcentages pondéraux en refus et en cumulés pour les rejets phosphatés et l'argile.

Il ressort de ces résultats que la majeure partie de la masse globale des échantillons étudiés (70.30 % et 44.81) sont représentées par les tranches granulométriques de dimensions 1.00 à 2.00 mm et >2mm pour les deux échantillons des rejets phosphatés et de l'argile respectivement.

**Tableau. 7 :** Granulométrie par tamisage des rejets phosphatés.

Tranches granulométriques (mm)	Rendement en (g)	Rendements Pondéraux (%)	Rendements cumulatif en refus (%)	Rendements cumulatif en passant (%)
<0,045	0,6	0,085984523	99,99	0,01
0,100	19,1	2,737173975	99,91	0,09
0,250	72,6	10,40412726	97,17	2,83
0,500	37,7	5,402694182	86,77	13,23
1,00	70,3	10,07451992	81,37	18,63
2,00	490,6	70,30667813	71,3	28,7
>2,00	6,9	0,988822012	0,99	99,01

**Tableau. 8 :** Granulométrie par tamisage de l'argile.

Tranches granulométriques (mm)	Rendement en (g)	Rendements Pondéraux (%)	Rendements cumulatif en refus (%)	Rendements cumulatif en passant (%)
<0,045	1	0,124269914	99,99	0,01
0,100	4,4	0,546787623	99,87573009	0,124269914
0,250	18,4	2,286566422	99,32894246	0,671057537
0,500	60,7	7,543183795	97,04237604	2,957623959
1,00	133	16,5278986	89,49919225	10,50080775
2,00	226,6	28,15956257	72,97129365	27,02870635
4,00	360,6	44,81173108	44,81173108	55,18826892
>4	0	0	0	100

La caractérisation de la granulométrie d'un matériau se fait à l'aide de 2 coefficients

### Coefficient d'uniformité

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$Cu > 2 \rightarrow$  granulométrie étalée.

$Cu < 2 \rightarrow$  granulométrie uniforme ou serrée.

**Coefficient de courbure**

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 \times D60}$$

$1 < Cc < 3 \rightarrow$  matériau bien gradué (la continuité est bien répartie).

$Cc < 1$  ou  $Cc > 3 \rightarrow$  matériau mal gradué (la continuité est mal répartie).

Matériau bien gradués  $\rightarrow$  matériaux plus denses

**Résultats du calcul du coefficient**

Coefficient d'uniformité (rejets)

$$Cu = \frac{D60}{D10} = \frac{1,24}{0,22} = 5,63$$

Le coefficient de courbure des rejets phosphatés

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 \times D60} = \frac{1,21}{0,27} = 4,48$$

**Commentaire**

Pour les rejets le coefficient d'uniformité ( $Cu=5,53>2$ ) indique que la granulométrie étalée.

Pour les rejets le coefficient de courbure ( $Cc=4,48>3$ ) indique que le matériau mal gradué (la continuité est mal répartie).

**Résultats du calcul du coefficient**

Coefficient d'uniformité (argile)

$$Cu = \frac{D60}{D10} = \frac{2,25}{0,45} = 5$$

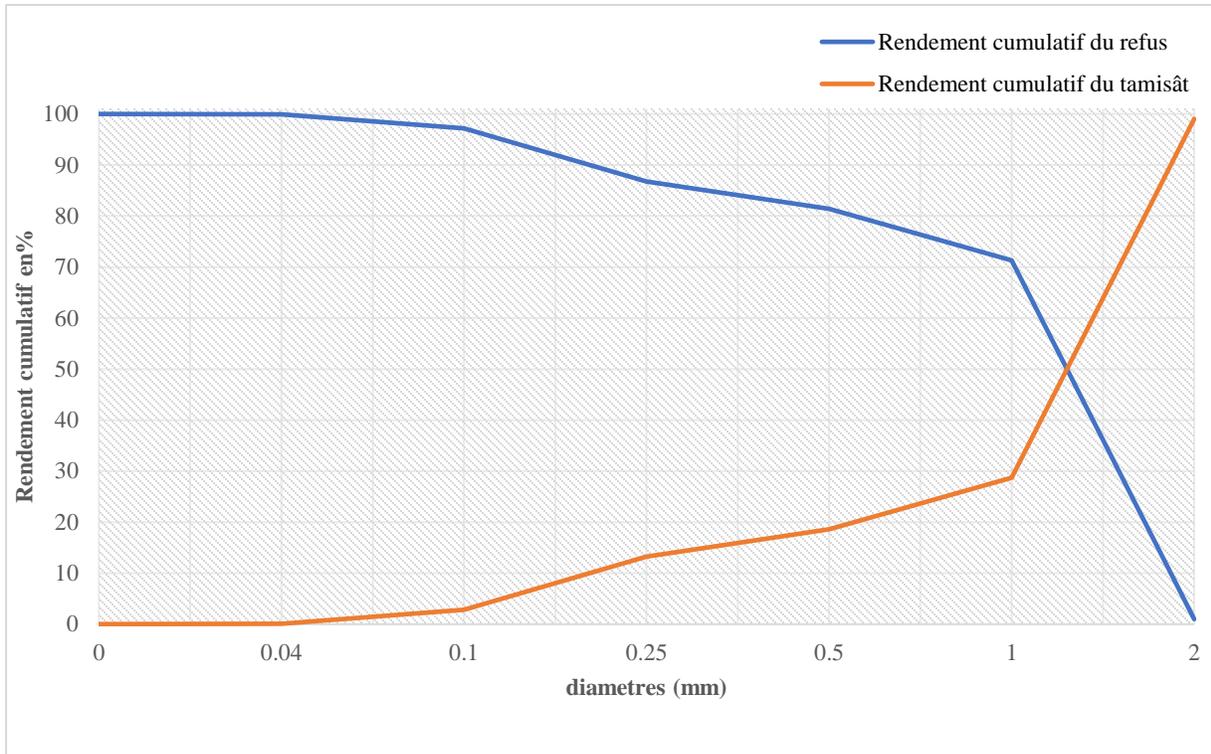
Coefficient de courbure (argile)

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 \times D60} = \frac{1,44}{1,01} = 1,42$$

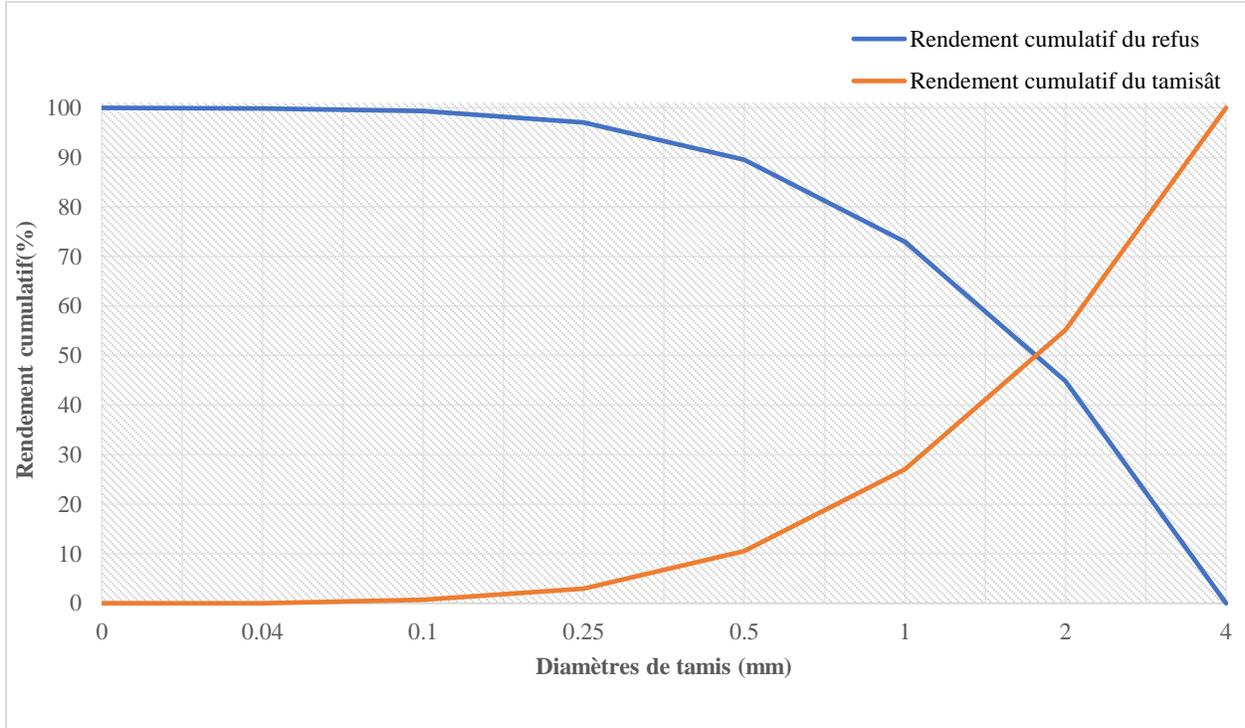
**Commentaire**

Pour les rejets, le coefficient d'uniformité ( $Cu=5>2$ ) indique que la granulométrie est étalée. Quant à l'argile, le coefficient de courbure ( $1 < Cc=1,42 < 3$ ) indique que le matériau est bien gradué (la continuité est bien répartie). Un matériau bien gradué implique qu'il est dense.

## CHAPITRE IV : Résultats de la caractérisation et interprétations



**Figure 29.** Granulométrie par tamisage des rejets phosphatés



**Figure 30.** Granulométrie par tamisage de l'argile

### IV.2.2 Analyses chimiques par FRX

La préparation mécanique des deux échantillons (rejets phosphaté et argile) a été réalisée au laboratoire LTMGP, Université de Bejaia.

La composition chimique de ces deux échantillons a été déterminée par FX, au laboratoire de l'université Farhat Abesse, Sétif. Les résultats montrent l'existence des éléments suivants: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Zn, Ti, Sr, Cr, Ni, Rb, Y, Zr, F, Y, et Cd.

Les résultats obtenus par FX sont rassemblés dans le tableau 9 et la figure 32. Il ressort de ces résultats que l'argile est riche en : Silicium (34.9%), Aluminium (12.2%), Fer (11.6%) et le Potassium (4.23 %) contrairement aux rejets phosphatés, ils sont composés de : Silicium (4.82%), Aluminium (1.35%), Fer (1.18%) et le Potassium (0.510%).

Il est à noter que les rejets phosphatés sont caractérisés par des teneurs élevées en : Calcium (71.4%), phosphore (9.32%) et le Magnésium (5.90%) par rapport à l'argile : Calcium (30.6%), phosphore (0.178%) et le Magnésium (2.21%).

Le silicium (Si) joue généralement un rôle de matériaux de charge et est utilisé dans la fabrication de briques cuites pour réduire la plasticité et augmenter la dureté de la brique.

L'alumine (Al) permet d'améliorer la plasticité des mélanges et d'obtenir des produits pressés à reliefs importants.

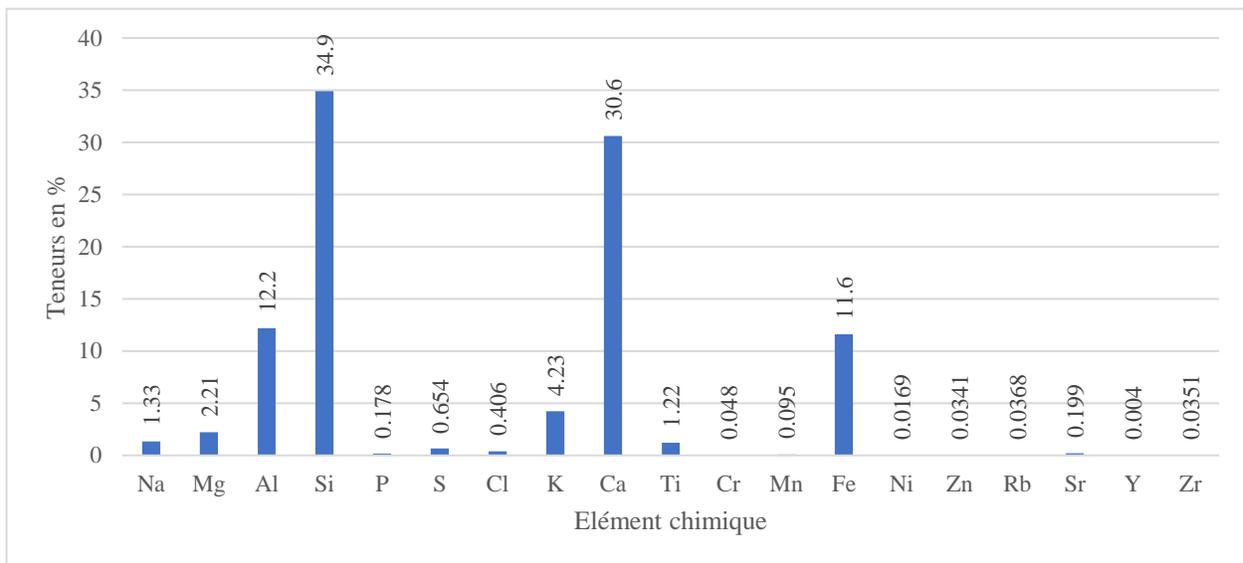
Le calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na) et le magnésium (Mg) sont également considérés comme des éléments fluxants et tendent à se combiner aux silicates au cours de la cuisson. Le reste des éléments chimiques sont à des teneurs proches.

**Tableau.9** Teneurs des éléments chimiques d'argile et de rejets de phosphate

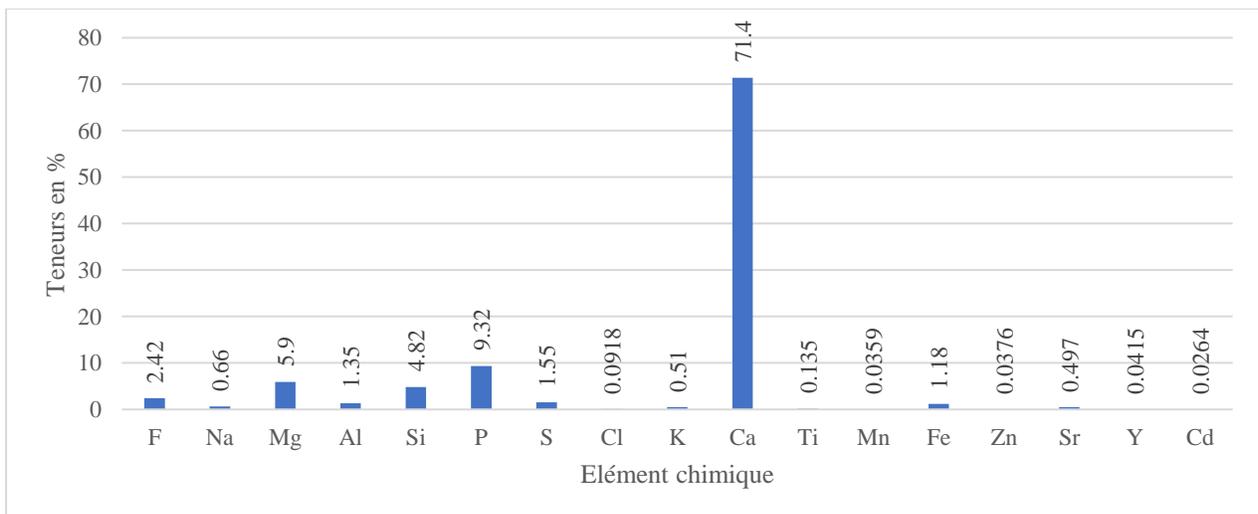
Eléments	Teneurs en %	
	Argile	Rejet de phosphate
Na <sub>2</sub> O	1,33	0,660
MgO	2,21	5,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,2	1,35
SiO	34,9	4,82
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,178	9,32
OS	0,654	1,55
Cl <sub>2</sub> O	0,406	0,0918
K <sub>2</sub> O	4,23	0,510
CaO	30,6	71,4
MnO	0,0950	0,0359

CHAPITRE IV : Résultats de la caractérisation et interprétations

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,6	1,18
TiO <sub>2</sub>	1,22	0,135
SrO	0,199	0,497
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0480	/
NiO	0,0169	/
Rb <sub>2</sub> O	0,0368	/
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0040	/
ZrO <sub>2</sub>	0,0351	/
F <sub>2</sub> O	/	2,42
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	/	0,0415



**Figure 31.** Teneurs des éléments chimiques de l'argile



**Figure 32.** Teneurs des éléments chimiques des rejets phosphatés

### IV.2.3 Analyses chimiques par FX et spectrométrie d'absorption atomique (SAA)

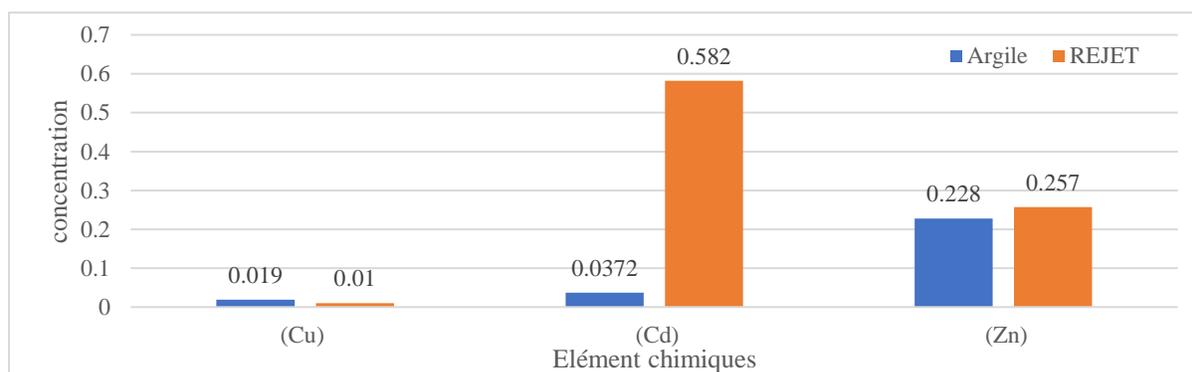
Les éléments en traces ont pris une importance croissante dans l'environnement, soit comme facteurs nutritionnels essentiels, soit comme agents toxiques.

Les résultats obtenus par SAA et FX sont rassemblés dans le tableau 10 et la figure 34. Ces résultats ont mis en évidence la présence de plusieurs éléments en traces répartis en 04 catégories

- Métaux de transition : chrome (Cr), cuivre (Cu), nickel (Ni), zinc (Zn), Titanium (Ti), zirconium (Zr) et cadmium (Cd) ;
- Terres rares : yttrium (Y) ;
- Métaux alcalino-terreux : strontium (Sr) ;
- Alcalin: rubidium Rb;

**Tableau.10** Composants chimiques des matières premières

Échantillon	Concentration (Cu)	Concentration (Cd)	Concentration (Zn)
Argile	0,019	0,0372	0,228
Rejets phosphatés	0,010	0,5820	0,257



**Figure 33.** Teneurs des éléments chimiques des rejets phosphatés et argile

### IV.2. 4. Analyses minéralogiques par DRX

L'étude minéralogique du minerai, effectuée par diffraction des rayons X (XRD) a porté sur les deux échantillons broyés (< 100 µm).

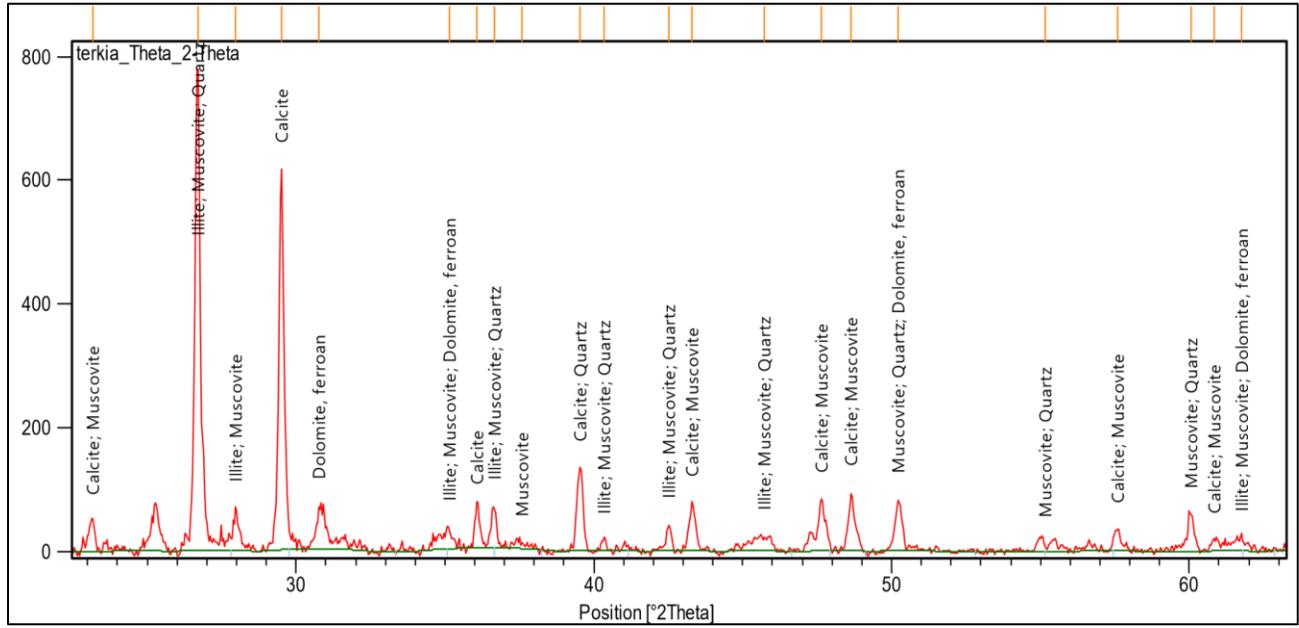
Le résultat obtenu pour l'échantillon de rejets phosphatés est étudié et rapporté par la figure 36 et qui a mis en évidence la présence des minéraux suivants :

- Dolomite et Calcite comme minéraux principaux.
- Quartz et fluorapatite en faible quantité.

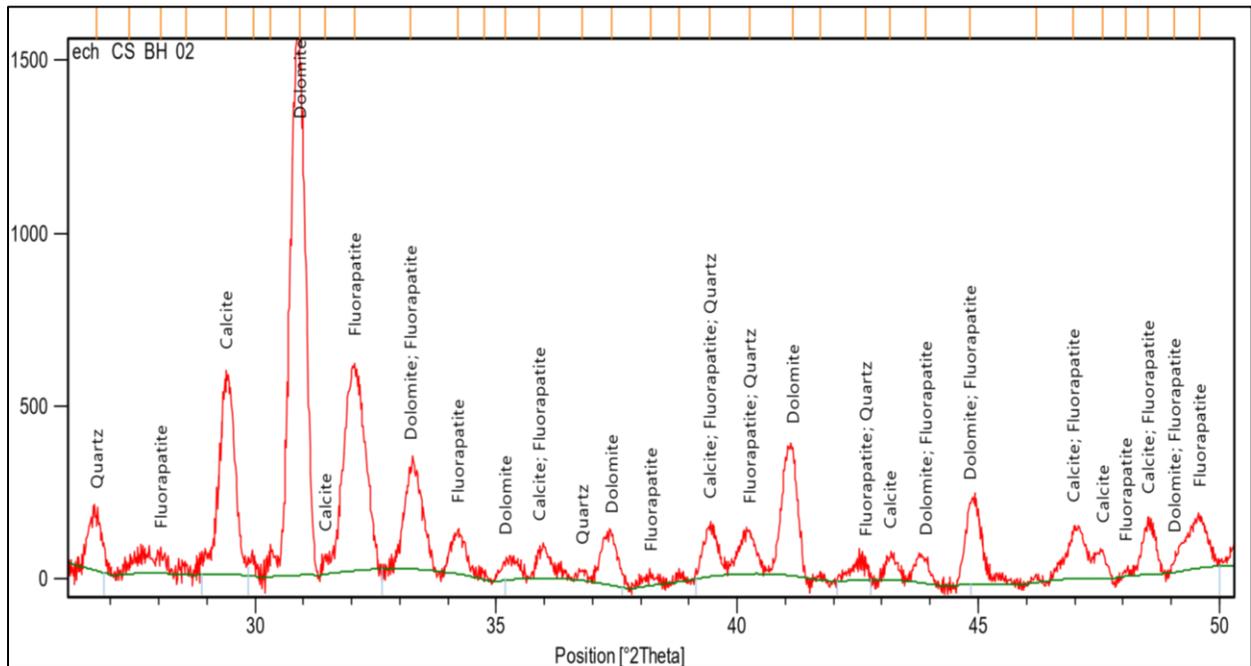
## CHAPITRE IV : Résultats de la caractérisation et interprétations

Le résultat de l'échantillon de l'argile est rapporté sur le diffractogramme de la figure 35, et qui met en évidence la présence des minéraux suivants :

- Illite, moscovite et calcite comme minéraux principaux.
- Quartz et dolomite en faible quantité.



**Figure 34.** Diffractogrammes RX de l'argile.



**Figure 35.** Diffractogrammes RX des rejets phosphatés.

### IV.2.5. Analyse par spectrométrie IR

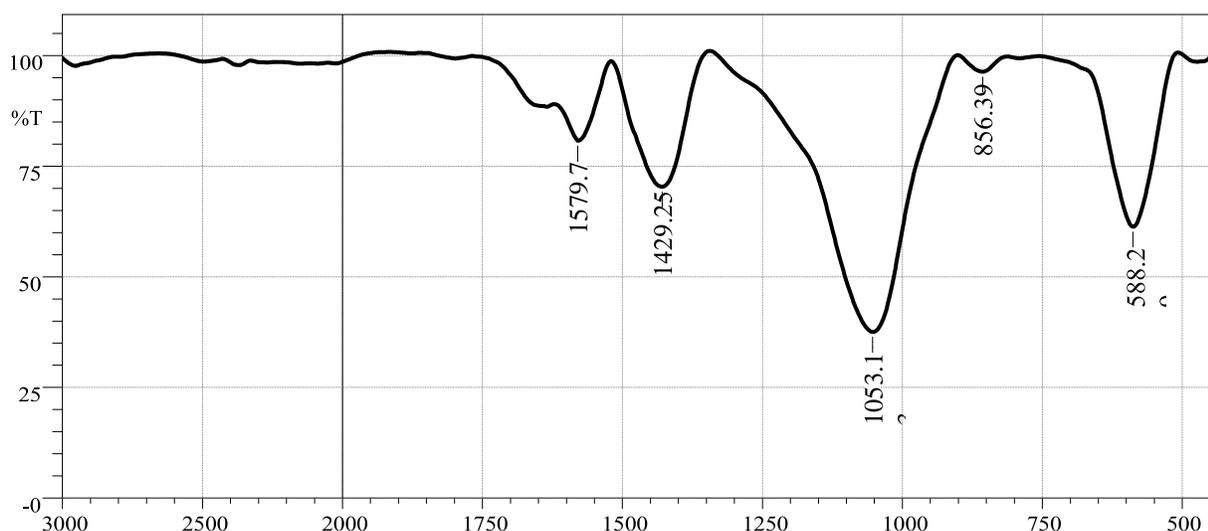
Les analyses par spectrophotométrie Infrarouge ont été réalisées pour les deux échantillons broyés (< 100 µm) de rejets phosphatés et de l'argile. Les résultats obtenus sont illustrés dans les tableaux 11 et 12 et les figures 37 et 38. On a mis en évidence plusieurs bandes principales, en particulier celles attribuées à des carbonates et à des calcites avec une vibration de déformation de Si-O-Al pour les rejets phosphatés et pour l'argile.

**Tableau. 11 :** Identification des bandes dans le spectre IR pour l'argile

Positions en cm <sup>-1</sup>	Intensités des bandes	Identification des bandes
586,36	Forte	la vibration de déformation de Si-O-Al
873,75	Faible	vibration asymétrique Si-O-Al
1047,35	Très forte	CaCO <sub>3</sub> la calcite
1436,97	Très forte	C-O du carbonate (CO <sub>3</sub> ) <sup>-2</sup>
2524,82	Faible	P-H
3425,58	Forte	OH

**Tableau. 12 :** Identification des bandes dans le spectre IR pour les rejets phosphaté.

Positions en cm <sup>-1</sup>	Intensités des bandes	Identification des bandes
588,29	forte	la vibration de déformation de Si-O-Al
856,39	Faible	vibration asymétrique Si-O-Al
1053,13	Très forte	CaCO <sub>3</sub> la calcite
1429,25	Forte	C-O du carbonate (CO <sub>3</sub> ) <sup>-2</sup>
1579,70	moyenne	C=C aromatique



**Figure 36.** Spectre infrarouge des rejets phosphatés.

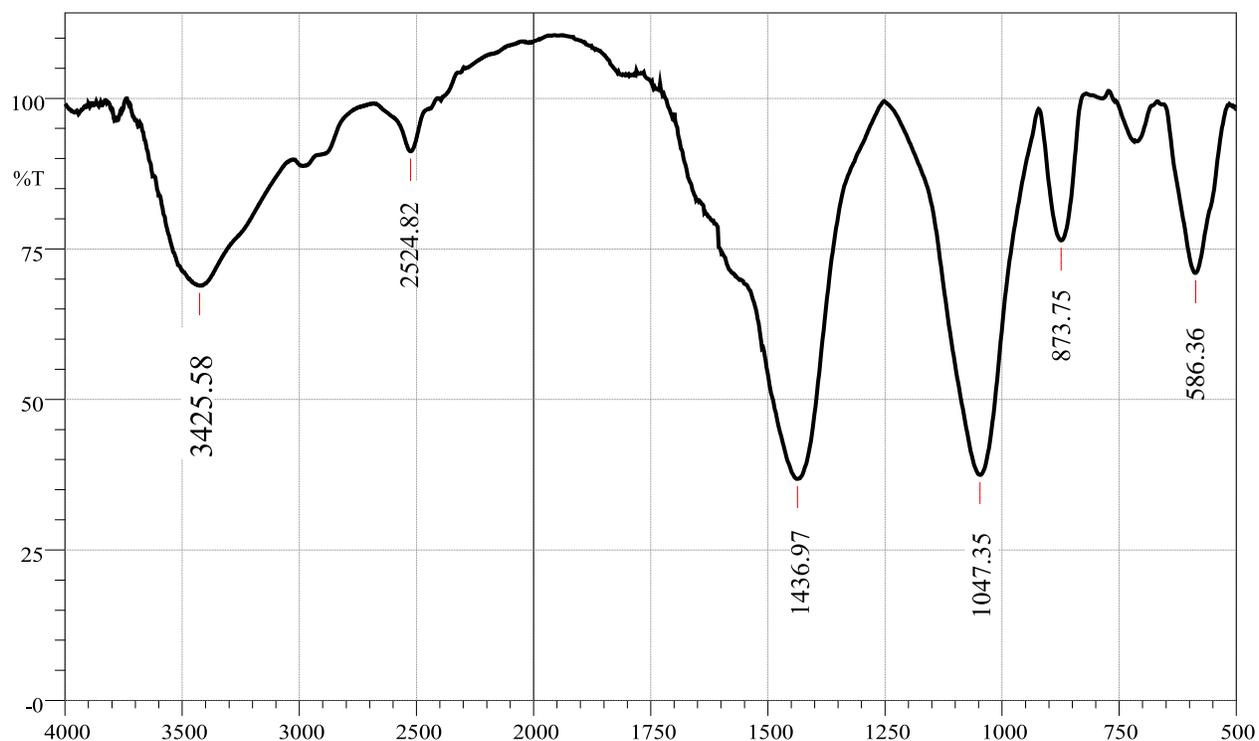


Figure 37. Spectre infrarouge de l'argile.

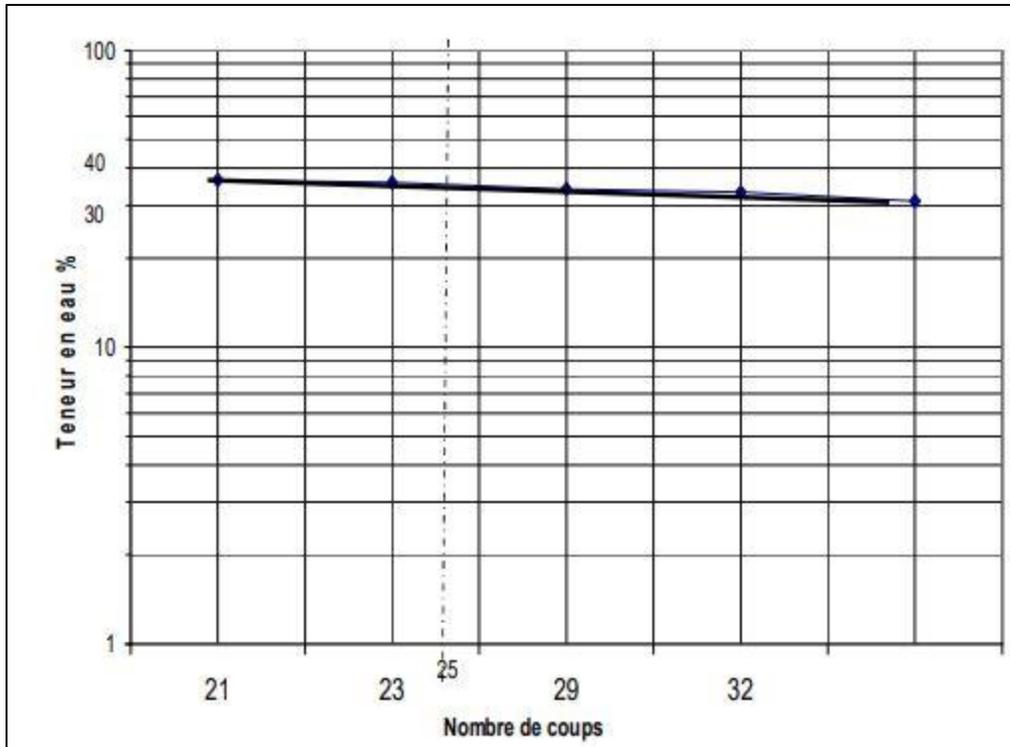
#### IV.2.6 Résultats de la Limite de liquidité

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau caractéristiques des sols fins permettant entre autre d'établir leur classification et d'évaluer leur consistance. Ces valeurs de teneurs en eau permettent de caractériser également les différents états des sols : liquide, plastique, solide et solide sans retrait de ces matériaux.

##### A. La limite de liquidité $w_l$

Tableau 13 : Calcul des teneurs en eau en fonction du nombre de coups [30]

N° Tare	4	7	1	3	5
Poids total humide W (g)	31,5	34,6	32,8	32,9	30,6
Poids total sec Wd (g)	29,3	31,4	30,2	30,0	28,3
Poids de la tare T (g)	22,2	21,8	22,6	21,9	22
Poids net d'eau (g)	2,2	3,2	2,6	2,9	2,3
Poids sec (g)	2,3	9,6	7,6	8,1	6,3
Teneur en eau w %	31	33,33	34,2	35,8	36,5
Nombre de coups	34	32	29	23	21



**Figure 38.** Représentation de la teneur en eau en fonction du nombre de coups [30]

A partir du graphe, il est montré que :  $WI \approx 35,2\%$

### B. La limite de plasticité $W_p$

**Tableau 14 :** Calcul de la limite de plasticité [30]

N° Tare	2	29	20	11
Poids total humide W (g)	25,7	21,4	20,6	25,1
Poids total sec Wd (g)	25,2	24,72	23,51	24,56
Poids de la tare T (g)	22,8	24,14	23,01	21,9
Poids net d'eau (g)	0,5	2,74	2,41	0,54
Poids sec (g)	2,4	0,58	0,5	2,66
Limite de plasticité $w_p$ %	20,83	21,17	20,74	20,30

Nous avons obtenu :  $w_p (\%) = 20,76\%$

### IV.3. Préparation des échantillons de briques

#### IV.3.1 Utilisation des rejets phosphatés dans la fabrication de briques cuites

L'utilisation des rejets phosphatés en dehors du site minier est l'une des méthodes qui pourrait résoudre leur impact sur l'environnement tout en réduisant leur volume. L'idée est de trouver des voies de valorisation de ces rejets qui peuvent consommer ces grandes quantités. La fabrication de briques cuites à base de rejets phosphatés présente un exemple concret de la symbiose industrielle.

#### IV.3.2 Fabrication des briques cuites

Dans cette étude, nous avons utilisé les rejets phosphatés pour fabriquer des briques cuites. Le principe est de formuler des briques en substituant l'argile naturelle d'Oued Rmila par les rejets phosphatés à différentes proportions allant de 0% du rejet, jusqu'à 30% du rejet étudié.

Les matières premières sont concassées, broyées, séchées, homogénéisées, divisées dans des sacs en plastique avec 1 kilogramme selon les étapes suivantes :

Les rejets et l'argile sont concassés dans un concasseur à mâchoires dont le but est d'obtenir un diamètre maximal de 2 mm (c'est-à-dire que l'ouverture est de 2 mm) puis sécher dans un four à 105°C pendant 24heurs jusqu'à ce que le poids se stabilise (Fig.39). Le rapport d'humidité mesurée sur l'argile est d'environ 9%. Les deux échantillons subiront ensuite un broyage jusqu'à des dimensions inférieures à 100 µm dans un broyeur FRISCH (Fig.50).



**Figure 39.** Argile après l'étuve



**Figure 40.** Broyeur FRISCH, LTMGP

### IV.3.3. La préparation de la pâte d'argile et des rejets

Les mélanges des deux échantillons sont ensuite préparés selon les taux de substitution désirés. Ces derniers changent en fonction des pourcentages des rejets phosphatés comme suit :

Echantillon **MG1** : 100 % d'argile ;

Echantillon **MG2** : 10 % de rejet et 90 % d'argile ;

Echantillon **MG3** : 20% rejet 80% argile ;

Echantillon **MG4** : 30% rejet 70% argile.

Avant de commencer à préparer des échantillons, le prérequis est de fabriquer le moule à utiliser, pour cela, nous utilisons une machine de fabrication mécanique du Hall Technologique de l'Université de Béjaïa. La moisissure est de forme parallélépipédique et de taille de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ .

Les matières premières sont mélangées avec une quantité suffisante d'eau (20%) dans un malaxeur ensuite mis dans un moule, pressés avec une presse hydraulique (Fig. 42) pour évacuer l'air et l'eau, séchés à l'air libre pendant deux jours ( fig. 43) et à  $100^\circ\text{C}$  pendant deux jours ( fig. 44), ensuite cuits dans un four (Fig. 45) avec une vitesse, une température et une durée de cuisson bien définies.

La température de cuisson est augmentée progressivement pendant 5 heures. Cet essai consiste au changement de la température de cuisson  $850, 900, 950^\circ\text{C}$  avec chaque mélange pour déterminer des indices importants de la qualité de brique. Ensuite un refroidissement progressif est effectué pendant 5heurs jusqu'à la température ambiante tout en exposant les briques à l'air libre.



**Figure.41** Compresseur hydraulique (hall de technologie université Bejaia)



**Figure 42.** Brique brute



**Figure 43.** Séchage de brique dans l'étuve



**Figure 44.** Cuisson de brique au four (hall de technologie)

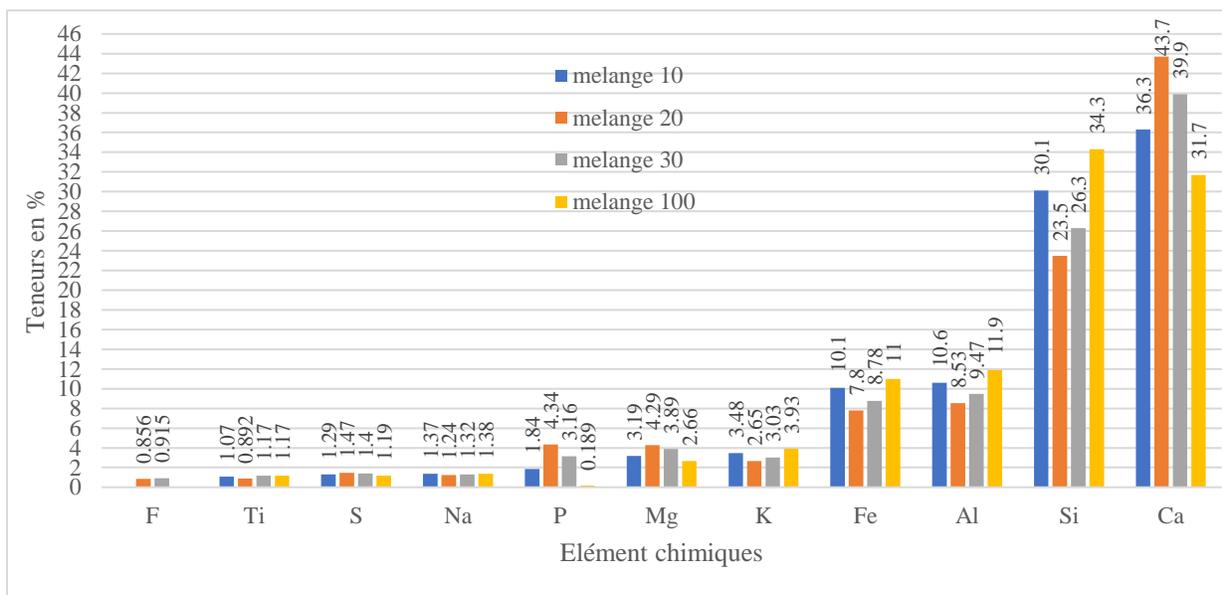


**Figure 45.** Brique crues

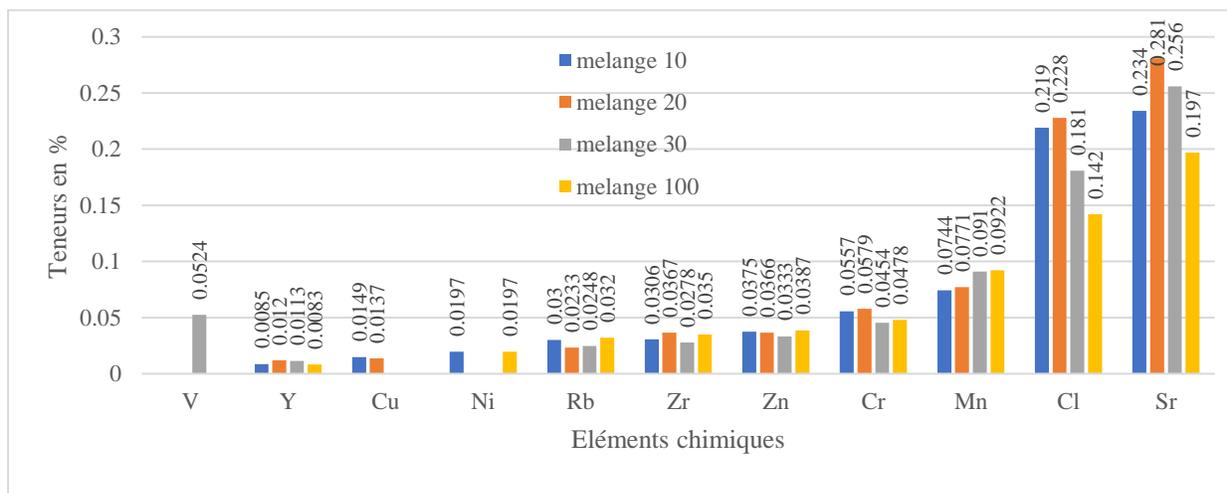
#### IV.4. Analyses par FX des briques cuites

##### IV.4.1 Analyses chimiques des briques à la température 850°C par FRX

Les résultats obtenus par la fluorescence X sont rassemblés dans les figures 47 et 48. Il ressort de ces résultats, les teneurs élevées pour MG1: silicium Si (34,3 %), aluminium Al (11,9 %) et fer Fe : 11% sont par rapport aux trois autres briques MG2 (Si : 30,1%, Al : 10,6% et Fe : 10,1%), MG3 (Si : 23,6% Al : 8,53% et Fe : 7,8%) et MG4 (Si : 26,3%, Al : 9,47% et Fe : 8,87%) respectivement. Par contre la teneur en calcium (Ca : 31,7%) enregistré par la brique MG1 moins que les autres briques MG2 (Ca : 36,3%), MG3 (Ca : 43,7%) et MG4 (Ca : 39,9%). Le reste des éléments sont enregistrés avec des teneurs très proches pour les quatre types des briques.



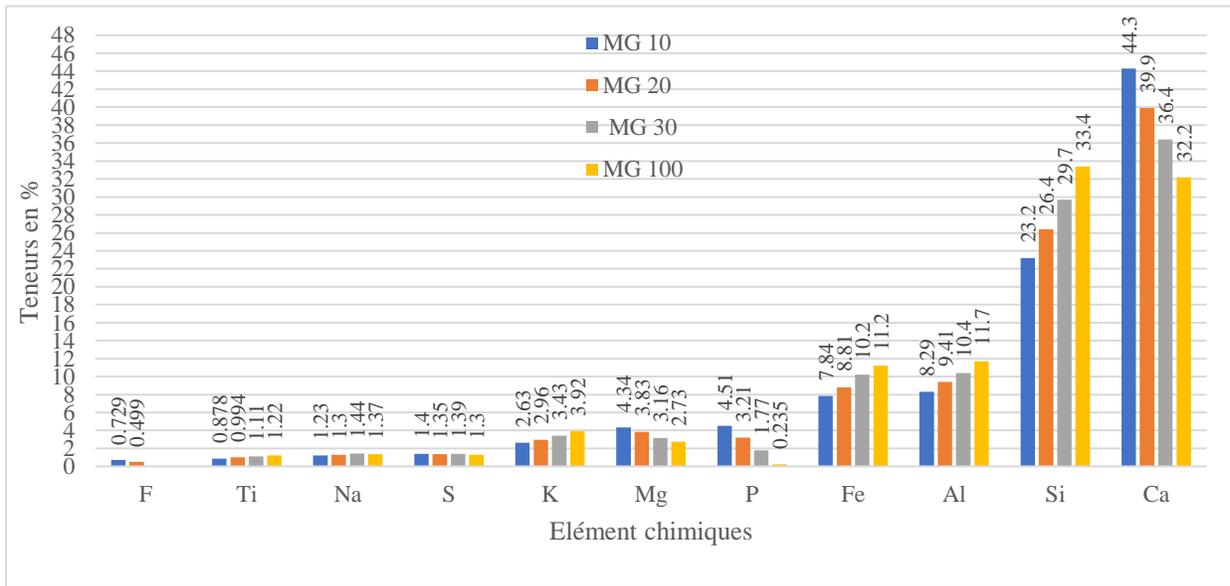
**Figure 46.** Eléments chimiques des briques à la température 850°C par FRX



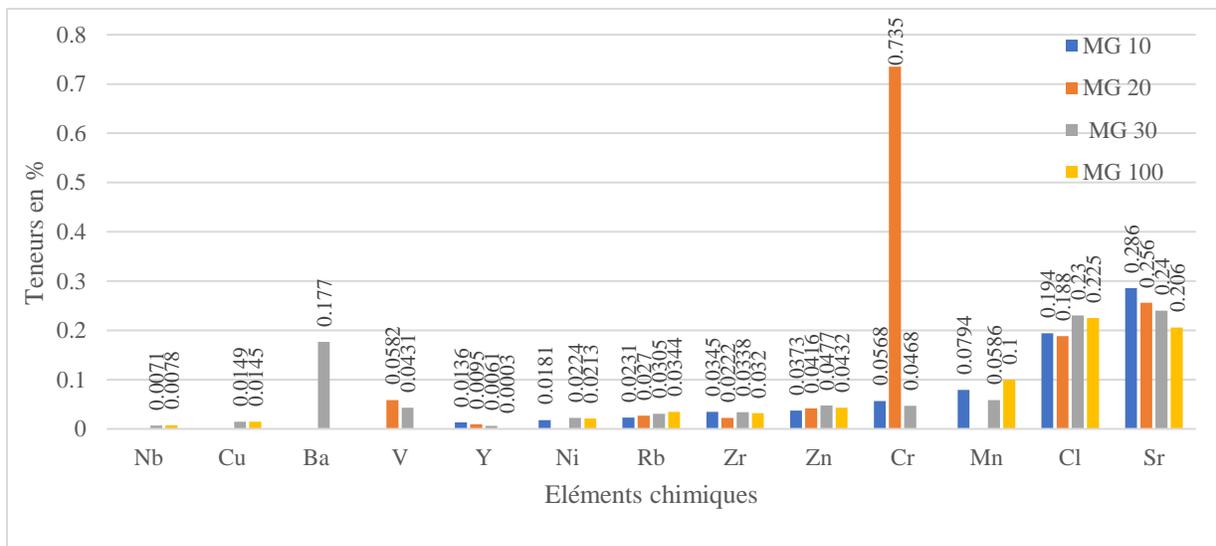
**Figure 47.** Eléments chimiques des briques à la température 850°C par FRX

**IV.4.2 Analyses chimiques des briques à la température 900°C par FRX**

Les résultats obtenus par FX sont rassemblés dans les deux figures 49 et 50. Il ressort de ces résultats que les teneurs des éléments en silicium Si (33,9 %), aluminium Al (11,9%) et fer Fe 11% pour MG1 sont élevés par rapport aux trois autres briques MG2 (Si : 29,8%, Al : 10,6% et Fe : 10%), MG3 (Si : 23,4 % Al : 8,54% et Fe : 7,82%) et MG4 (Si : 26,4 %, Al : 9,47% et Fe : 8,96%) respectivement. Par contre la teneur en calcium (Ca : 32,2 %) enregistré par la brique MG1 moins que les autres briques MG2 (Ca : 44,3%), MG3 (Ca : 36,4%) et MG4 (Ca : 40,3%). Le reste des éléments sont enregistrés avec des teneurs très roches pour les quatre types des briques.



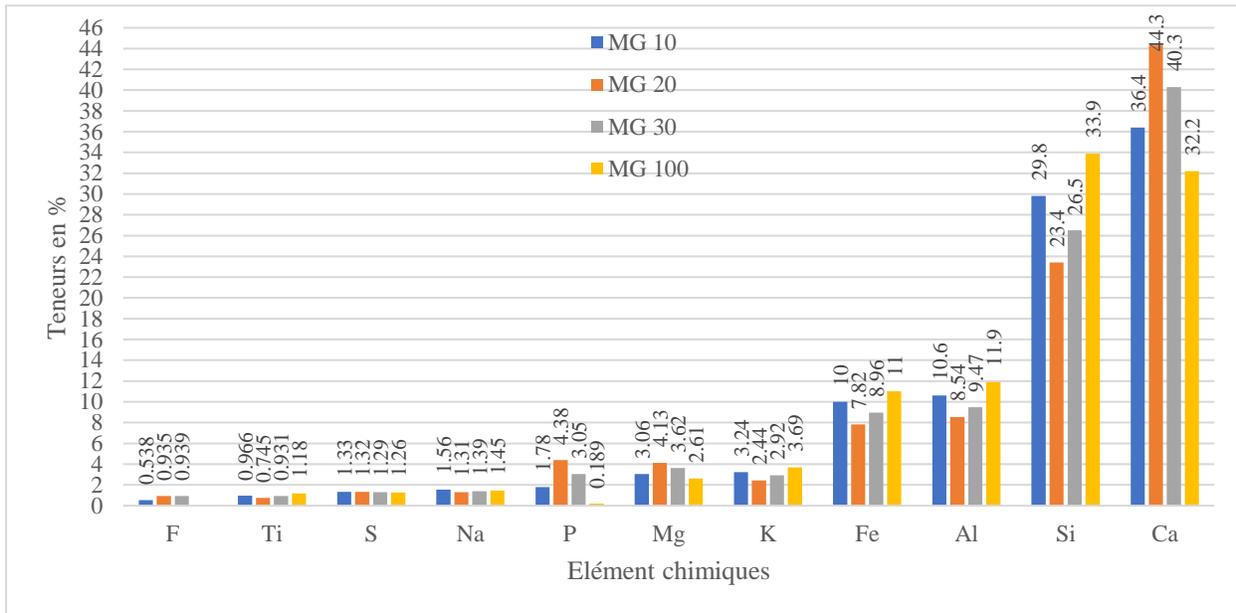
**Figure 48.** Eléments chimiques des briques à la température 900°C par FRX



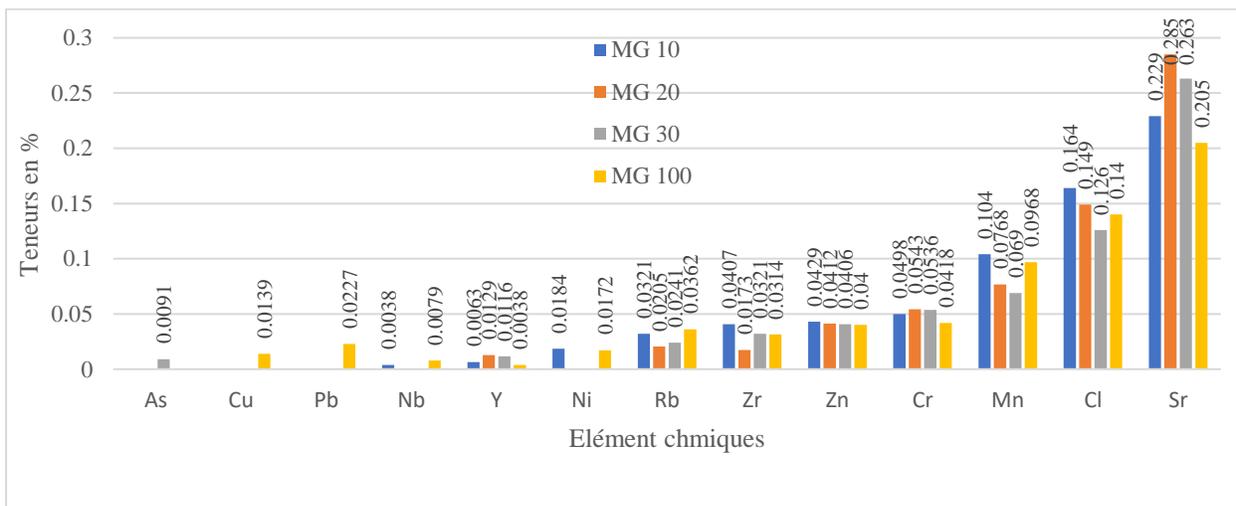
**Figure 49.** Eléments chimiques des briques à la température 900°C par FRX

**IV.4.3 Analyses chimiques des briques à la température 950°C par FX**

Les résultats obtenus par FRX sont rassemblés dans les deux figures 51 et 52. Il ressort de ces résultats que les teneurs des éléments en silicium Si (33,9 %), aluminium Al (11,9%) et fer Fe 11% pour MG1 sont élevés par rapport aux trois autres briques MG2 (Si : 29,8%, Al : 10,6% et Fe : 10%), MG3 (Si : 23,4 % Al : 8,54% et Fe : 7,82%) et MG4 (Si : 26,4 %, Al : 9,47% et Fe : 8,96%) respectivement. Par contre la teneur en calcium (Ca : 32,2 %) enregistré par la brique MG1 moins que les autres briques MG2 (Ca : 44,3%), MG3 (Ca : 36,4%) et MG4 (Ca : 40,3%). Le reste des éléments sont enregistrés avec des teneurs très roches pour les quatre types des briques.



**Figure 50** Eléments chimiques des briques à la température 950°C par FRX



**Figure 51** Eléments chimiques des briques à la température 950°C par FRX

#### IV.5. Essais physiques

La résistance mécanique est parmi les indicateurs de qualité exigés par les normes de construction. La caractérisation mécanique comprend les essais de compression uni-axiale et de flexion sur les éprouvettes fabriquées et permet l'évaluation de l'aptitude d'un matériau à être utilisé dans le domaine de la construction.

Nous avons réalisé les essais physiques sur les différents échantillons des briques dans un appareil de compression CMA, Ko3313 au laboratoire de la cimenterie d'Ain-Kbira comme le suivant :

**C1** : test de résistance à la compression numéro 1 ;

**C2** : test de résistance à la compression numéro 2 ;

**CM** : La moyenne des deux compressions 1et 2 ;

**F** : résistance à la flexion.

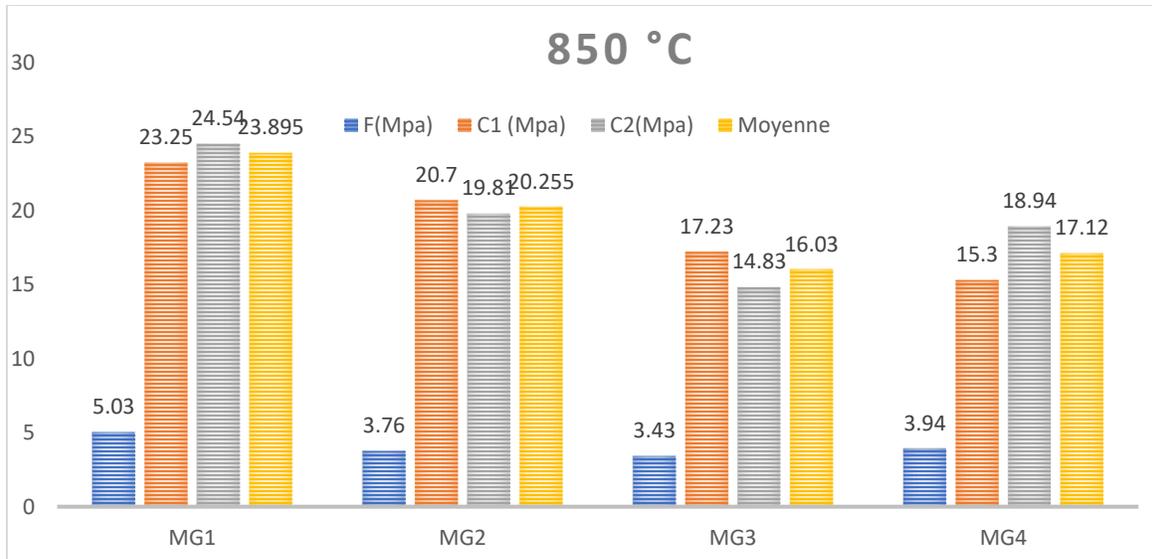
##### IV.5.1 Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques de 850 °C

Le tableau 15 et la figures 53 illustre les résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques à la température 850 °C

Il ressort de ces résultats que la résistance à la flexion des briques pour le mélange à 100% d'argile (MG1) : 5,03 MPa plus grande par rapport aux autres mélanges MG2 : 3,76 MPa, le MG3 : 3,43 MPa et le MG4 : 3,94 MPa. Aussi, la résistance à la compression du MG1 (23,89 MPa) plus supérieure aux autres résistances des trois mélanges MG 2 (20,25 MPa), MG3 (16,03 MPa) et MG4 (17,12 MPa).

**Tableau 15** : Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques à 850 °C

Mélange	Résistance à la flexion et la compression en Mpa			
	F	C1	C2	CM
<b>MG1</b>	5,03	23,25	24,54	23,895
<b>MG2</b>	3,76	20,7	19,81	20,255
<b>MG3</b>	3,43	17,23	14,83	16,03
<b>MG4</b>	3,94	15,3	18,94	17,12



**Figure 52.** Histogramme de la résistance (MPa) à la flexion et la compression de brique à 850 °C

#### IV.5.2 Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques de 900 °C

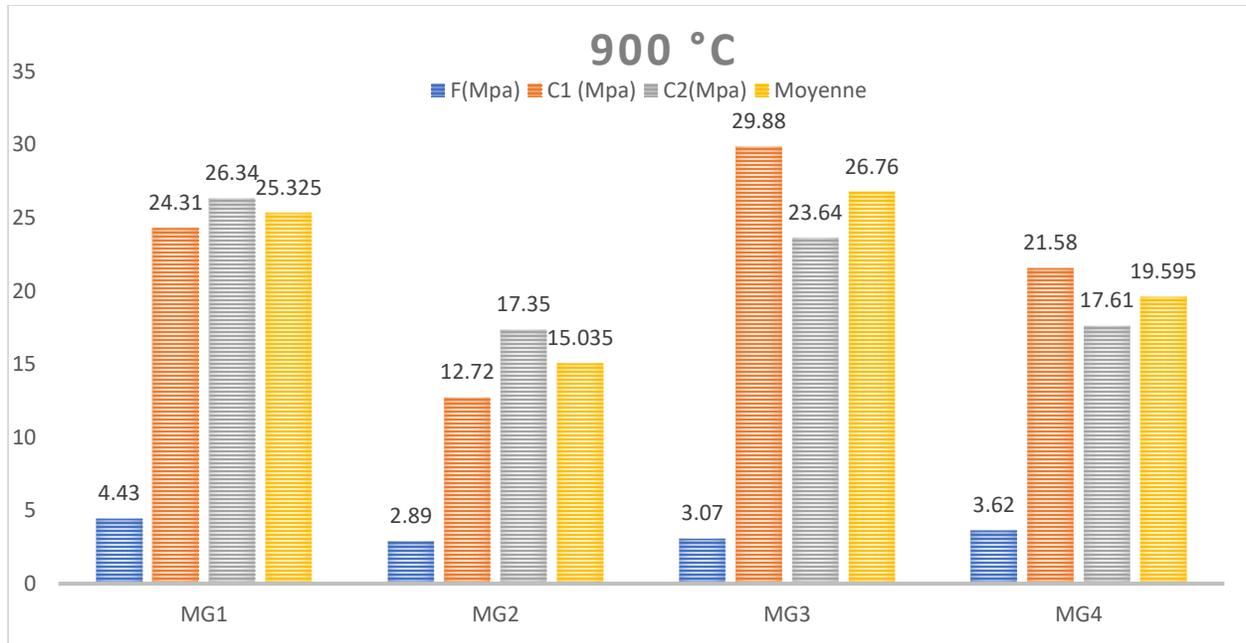
Le tableau 16 et la figures 54 illustre les résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques à la température 900 °C

Il ressort de ces résultats que la résistance à la flexion des briques a 100% d'argile (MG1) : 4,43 MPa plus grande par rapport aux autres mélanges MG2 : 2,89 MPa, le MG3 : 3,07 MPa et le MG4 : 3,62 MPa. . Aussi, la résistance à la compression du MG1 (25,32 MPa) plus supérieure aux autres résistances des trois mélanges MG 2 (15,03MPa), MG3 (26,76MPa) et MG4 (19,595 MPa).

La moyenne des résultats obtenus montre que de la résistance à la compression des MG1 25,32 MPa alors qu'elle diminue pour le MG2 à 15,03, puis augmente à 26,76 MPa pour le MG3 et diminuer à 19,595 MPa pour MG4 à cause de la diminution de la teneur en silicium.

**Tableau.16** Résultats de la résistance à la flexion et la compression des briques à 900 °C

Mélange	Résistance à la flexion et la compression en Mpa			
	F	C1	C2	CM
MG1	4,43	24,31	26,34	25,325
MG2	2,89	12,72	17,35	15,035
MG3	3,07	29,88	23,64	26,76
MG4	3,62	21,58	17,61	19,595



**Figure 53.** Histogramme de la résistance à la flexion et la compression des briques à 900 °C

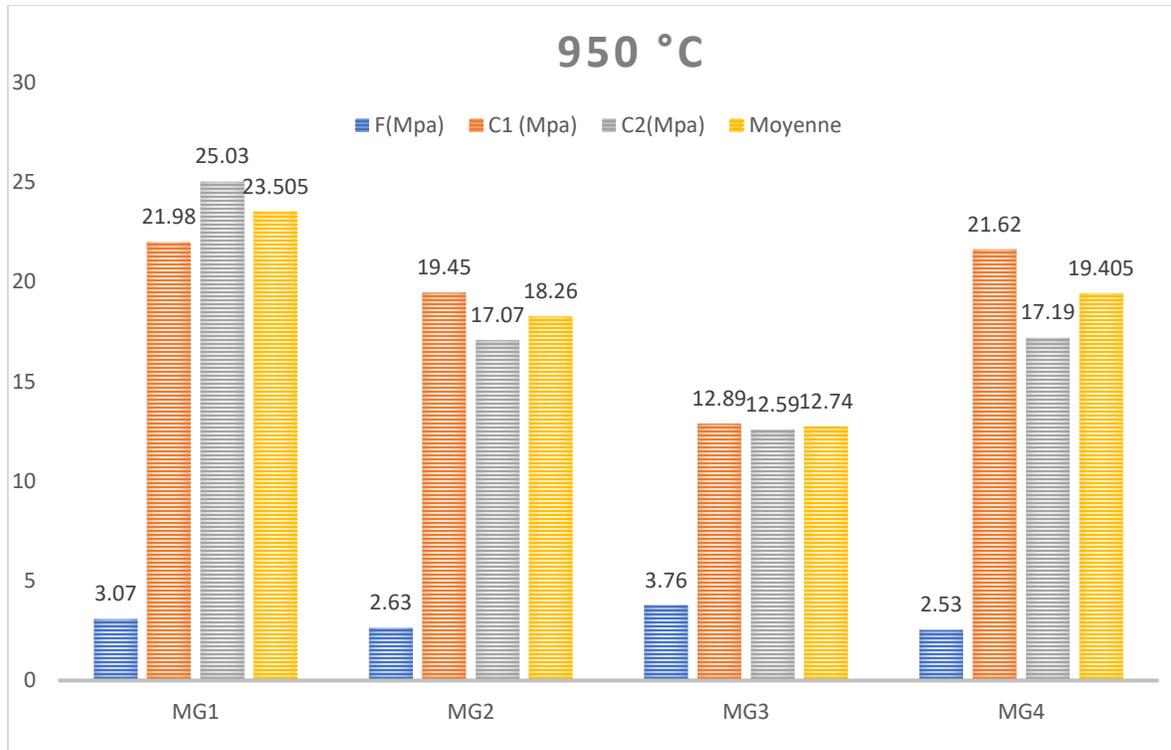
#### IV.5.3 Résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques de 950 °C

Le tableau 17 et la figures 55 illustrent les résultats de la résistance à la flexion et à la compression des briques à la température 900 °C

Il ressort de ces résultats que la résistance à la flexion des briques a 100% d'argile (MG1) : 3,07MPa plus grande par rapport aux autres mélanges MG2 : 2,63MPa, le MG3 : 3,76MPa et le MG4 : 2,53MPa. Aussi, la résistance à la compression du MG1 (23,505MPa) supérieure aux autres résistances des trois mélanges MG 2 (18,26MPa), MG3 (12,74MPa) et MG4 (19,405 MPa).

**Tableau.17** Résultats de la résistance (MPa) à la flexion et la compression de brique de 950°C

MELANGE	Résistance à la flexion et la compression en Mpa			
	F	C1	C2	CM
<b>MG1</b>	3,07	21,98	25,03	23,505
<b>MG2</b>	2,63	19,45	17,07	18,26
<b>MG3</b>	3,76	12,89	12,59	12,74
<b>MG4</b>	2,53	21,62	17,19	19,405



**Figure 54.** Histogramme de la résistance à la flexion et la compression des briques de 950 °C

**Interprétation :**

D’après les résultats des essais physiques obtenus, nous avons constaté que les meilleurs résultats de la résistance à la flexion sont enregistrés à la température 850°C pour les quatre types des briques (MG2 : 3,76 MPa, le MG3 : 3,43 MPa et le MG4 : 3,94 MPa). La même remarque pour la résistance à la compression du MG1 (23,89 MPa) MG 2 (20,25 MPa), MG3 (16,03 MPa) et MG4 (17,12 MPa), en revanche que parmi ces résultats le meilleur résultat de compression est enregistré par la brique MG1 à 100% argile à cause de la teneur élevée de silicium (34,3%) et moins de calcium (31,7%) par rapport aux autres briques MG 2 (30,1% et 36,3%), MG3 (23,5% et 43,7%) et MG4 (26,3% et 39,9%) respectivement. Le silicium (Si) joue un rôle de matériaux de charge et généralement utilisés dans la fabrication de briques cuites pour réduire la plasticité et augmente la dureté du brique.

On peut conclure que les résultats de la résistance à la flexion sont observés à une température de 850°C de cuisson, ceci pour les quatre types de briques et qui sont tous supérieurs à 2,5MPa ce qui correspond bien aux normes de construction ASTM-C674, 1999.

#### IV.6.Conclusion

L'étude minéralogique et chimique ont été réalisées par plusieurs méthodes d'analyses : DRX, FRX, IF et SAA préalables, permettant de définir la nature de l'argile riche en : Silicium (34,9%), Aluminium (12,2%), Fer (11,6%) et le Potassium (4,23 %) par rapport aux rejets phosphatés Silicium (4,82%), Aluminium (1,35%), Fer (1,18%) et le Potassium (0,510%). Les rejets phosphatés sont caractérisés par des teneurs élevées en : Calcium (71,4%) et le Magnésium (5,90%) par rapport à l'argile : Calcium (30,6%) et le Magnésium (2,21%).

La présence de silicium (Si) en forte teneurs joue un rôle de matériaux de charge et généralement utilisés dans la fabrication de briques cuites pour réduire la plasticité et augmenter la dureté du brique. L'alumine (Al) permet d'améliorer la plasticité des mélanges et d'obtenir des produits pressés à reliefs importants. Le calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na) et le magnésium (Mg) sont également considérés comme des éléments fluxants et tendent à se combiner aux silicates au cours de la cuisson. Le reste des éléments chimiques sont des teneurs proches. La forte teneur en calcium plus de 30 % permet de la catégoriser comme étant une argile calcaireuse très maniable et plastique.

Les résultats des essais physiques ont été obtenus permettant de déterminer que les meilleurs résultats de la résistance à la flexion sont enregistrés à la température 850°C pour les quatre types des briques (MG2 : 3,76 MPa, le MG3 : 3,43 MPa et le MG4 : 3,94 MPa). Aussi pour la résistance à la compression du MG1 (23,89 MPa) MG 2 (20,25 MPa), MG3 (16,03 MPa) et MG4 (17,12 MPa), en revanche que parmi ces résultats le meilleur résultat de compression est enregistré par la brique MG1 à 100% argile à cause de la teneur élevée de silicium (34,3%) et moins de calcium (31,7%) par rapport aux autres briques MG 2 (30,1% et 36,3%), MG3 (23,5% et 43,7%) et MG4 (26,3% et 39,9%) respectivement. L'augmentation des quantités de rejets phosphatés ajoutés, diminue la présence de silice, d'alumine et de fer résultant une perte dans la résistance à la compression.

On peut conclure que les résultats de la résistance à la flexion sont obtenus à une température de 850°C de cuisson pour les quatre types de briques et qui sont supérieurs à 2,5MPa ce qui correspond bien aux normes de construction ASTM-C674, 1999.

# **Conclusion générale**

## CONCLUSION GENERALE

Le but essentiel de ce travail de mémoire est la préservation de l'environnement en s'intéressant à la résolution d'un problème majeur, celui des rejets phosphatés. L'idée est de les rajouter à une autre source naturelle qui est l'argile afin de fabriquer des terres cuites (briques).

Les études minéralogique et chimique ont été réalisées par plusieurs méthodes telles que DRX, FRX, IF et SAA préalables, afin de définir la nature de l'argile. Les résultats ont montré que l'argile est riche en : Silicium (34,9%), Aluminium (12,2%), Fer (11,6%) et le Potassium (4,23 %). Alors que les rejets phosphatés sont composés essentiellement de : Silicium (4,82%), Aluminium (1,35%), Fer (1,18%) et le Potassium (0,510%). Les rejets phosphatés sont caractérisés par des teneurs élevées en : Calcium (71,4%) et le Magnésium (5,90%) comparant à l'argile qui contient du: Calcium (30,6%) et le Magnésium (2,21%).

La présence de silicium (Si) en forte teneur qui joue généralement un rôle de matériaux de charge et qui est utilisé dans la fabrication de briques cuites afin de réduire la plasticité et augmente la dureté de la brique. L'aluminium (Al), quant à lui permet d'améliorer la plasticité des mélanges et d'obtenir des produits pressés à reliefs importants. Le calcium (Ca), potassium (K), sodium (Na) et le magnésium (Mg) sont également considérés comme des éléments fluxant et tendent à se combiner aux silicates au cours de la cuisson. Le reste des éléments chimiques sont des teneurs proches. L'argile à forte teneur en calcium (plus de 30 %) permet de la catégoriser comme étant une argile calcareuse très maniable et plastique.

L'analyse par DRX de l'argile a mis en évidence la présence des minéraux prédominants : Illite, moscovite et calcite comme minéraux principaux et le quartz et la dolomite en faible quantité. Le résultat obtenu pour l'échantillon de rejets phosphatés a mis en évidence la présence des minéraux principalement la dolomite et calcite comme minéraux principaux et le quartz et fluorapatite en faible quantité.

Les meilleurs résultats des essais physiques de la résistance à la flexion sont enregistrés à une température de 850°C pour les quatre types des briques : (MG2 : 3,76 MPa, le MG3 : 3,43 MPa et le MG4 : 3,94 MPa). Même remarque pour la résistance à la compression du MG1 (23,89 MPa) MG 2 (20,25 MPa), MG3 (16,03 MPa) et MG4 (17,12 MPa), alors que parmi ces résultats le meilleur obtenu pour la compression est enregistré par la brique MG1 à 100% argile en raison de la teneur élevée de silicium (34,3%) et moins faible teneur de calcium (31,7%) par rapport aux autres briques MG 2 (30,1% et 36,3%), MG3 (23,5% et 43,7%) et MG4 (26,3% et 39,9%) respectivement. L'augmentation des quantités de rejets phosphatés ajoutée, diminue la présence de silice, d'alumine et de fer menant à une perte dans la résistance à la compression.

Pour conclure, le meilleur résultat de la résistance à la flexion est enregistré à une température de 850°C de cuisson pour les quatre types de briques. Toutes les valeurs sont supérieures à 2,5MPa et qui sont dans les normes de construction ASTM-C674, 1999.

Ce travail contribue à la résolution d'un problème majeur au niveau des briqueteries d'un côté et d'un autre coté le problème de la contamination des sols et des nappes phréatiques à la zone de Bir El Ater puisque les rejets étudiés contiennent un pourcentage de cadmium qui est très dangereux à la santé et l'environnement.

## Références bibliographique

- [1] **Dr. Guettouche Amar**, “Identification et classification des sols,” université Ferhat abbas, Setif , page. 31. 2015
- [2] **C. E. (Charles E.)** “Weaver, Clays, muds, and shales, vol. 44”. Elsevier, 1989.
- [3] **M. E. Tucker**, “Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary” 3<sup>rd</sup> edition, 2001
- [4] : **CHOUFA Nassima**, Mémoire de magister « épuration des eaux usées par un matériau argileux », page 03,04, université souk ahras, [2012/2013].
- [5] <https://agronomie.info/fr/classification-des-mineraux-argileux/>
- [6] **Yassine Bentahar**. Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l’adsorption de l’arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Autre. COMUE Université Côte d’Azur (2015 - 2019) ; Université Abdelmalek Essaâdi (Tétouan, Maroc), 2016.
- [7] « PROPRIETE DE LA SOCIETE BRIQUETRIE REMILA », fiche technique, [2007],
- [8] **YASSINE TAHA** « THESE DOCTORAT VALORISATION DES REJETS MINIERES DANS LA FABRICATION DE BRIQUES CUITES : ÉVALUATIONS TECHNIQUE ET ENVIRONNEMENTALE » UNIVERSITÉ DU QUÉBEC [2017]
- [9] « Fabrication de la brique » Fédération Belge de la Brique
- [10] **Lucien ALVISET** « Matériaux de terre cuite » Editions Techniques de l’Ingénieur
- [11] **Kornmann, M.** Matériaux de construction en terre cuite-Fabrication et propriétés. Livre Éditions Septima. [2005]
- [12] **Kornmann, M.** Matériaux de terre cuite, Matières de base et fabrication. Éditions Techniques de l’Ingénieur-C 905v2–20. [2009]
- [13] **Larouci M.** Etude de la caractérisation et de la valorisation du minerai de phosphate de Djebel Onk – Algérie- thèse de doctorat ingénieur. Université orléans. 1 vol texte, 194p[1988]
- [14] **Hamdadou M.** Caractérisation petro-mineralogique et sequentielle du gisement de phosphate de Djebel Onk (Algérie), Thèse de Doct. Es Scienc., ENSG Nancy [1996]
- [15] **Kechiched, R.** Typologie géochimique et géostatistique des mineraies de phosphates du gisement de Bled El Hadba – Djebel Onk (Algérie). Université Badji Mokhtar, Annaba. 175p [2011]
- [16] « Complexe minier Djebel Onk- Bir El Ater. »
- [17] **MERMILLOD-BLONDIN** Rapport de stage de fin d’études à l’Unité de recherche et de service en technologie minérale Raphaël Optimisation de la récupération du zinc dans le traitement des rejets miniers par désulfuration environnementale : Application au traitement des

résidus de la mine Louvicourt, Abitibi-Témiscamingue, Québec, Canada 1 volume, 1 page bibliographique [2002]

[18] [www.algerie-eco.com](http://www.algerie-eco.com) 2016

[19] **Maxson, P. A., Vonkema, G. H.**, “Les métaux lourds dans les phosphates. Risques pour l’environnement et implications stratégiques”, Commission des Communautés Européennes, 23 p. [1992]

[20] **Garbisu, C., Alkorta, I.**, “Phytoextraction a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment”, *Bioresource Technology*, V. 77, (2001), 229-236. Adler, E., “Boues d’épuration et métaux lourds: éléments d’information”, *Hexagone Environnement*, V. 36, (2001), 27-29.

[21] **Abdelouahab, C.**, Elimination sur quelques argiles bentonitiques algérienne de métaux lourds présents dans les eaux résiduaires industrielles Ca du Cd (II) et du Zn (II)”, Thèse, USTHB, Algérie, [1987],

[22] **Richard Rhodes, Simon and Schuster.** Uranium War, Energy, and the Rock That Shaped the World, Penguin Books Simon and Schuster (en), The Making of the Atomic Bomb (en), [1987, 2012].

[23] **Van Kauwenbergh,** World Phosphate Rock Reserves and Resources P.O. Box 2040 Muscle Shoals, Alabama 35662, U.S.A. [1997]

[24] **Pinsky, D. L.**, “heavy metals and environment”, U.S.S.R., Academy of Sciences, Institute of Soil Science and Photosynthesis (PUSHCHINO), page (1-10) (1989).

[25] **Christine L. Toma.** ANALYSE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE GESTION INTÉGRÉE DES REJETS MINIERS PERMETTANT DE MINIMISER L’IMPACT DES OPÉRATIONS MINIÈRES, Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l’obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

[26] **Aubertin, M., Bussiér, e.B., Bernier, L.** Environnement et gestion des résidus miniers. (On CD). Les Presses Internationales Polytechnique, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada. [2002]

[27] European waste catalogue code

[28] **Pr. Maghchiche** «Spectrométries d’absorption et d’émission atomiques » université Batna [2019]

[29] **Francis rouessac, Annick Rouessac** « Analyse chimique Méthodes et techniques instrumentales 9e édition » [2019]

[30] **Mme AREZKI et DJADOUF SAMIA** « Etude de l’influence des ajouts (grignon d’olive et foin) sur les caractéristiques physico- mécaniques de la brique de terre cuite »



## Résumé

Dans le cadre de résoudre quelques problèmes de l'industrie de terres cuites ainsi que les rejets miniers, la présente étude est focalisée sur la caractérisation des argiles de la région Sidi-Aiche Remila Bejaia et les rejets phosphatés de la mine de Djebel Onk en vue de leur valorisation dans le secteur de fabrication de brique.

Dans ce travail, nous présentons une solution nouvelle, qui est d'incorporer ces rejets phosphatés dans la brique de construction. Nous avons procédé à la fabrication de brique en incorporant divers pourcentages des rejets tout en respectant les différentes étapes de fabrication de brique et en variant la température de cuisson.

L'étude minéralogique et chimique ont été réalisées par plusieurs méthodes d'analyses DRX, FRX, IR et SAA préalables, permettant de définir la nature de l'argile riche en : Silicium (34.9%), Aluminium (12.2%), Fer (11.6%) et le Potassium (4.23 %) par rapport aux rejets phosphatés Silicium (4.82%), Aluminium (1.35%), Fer (1.18%) et le Potassium (0.510%). Les rejets phosphatés sont caractérisés par des teneurs élevées en : Calcium (71.4%) et le Magnésium (5.90%) par rapport à l'argile : Calcium (30.6%) et le Magnésium (2.21%). La présence de silicium (Si) en forte teneur joue généralement un rôle de matériaux de charge et généralement utilisés dans la fabrication de briques cuites pour réduire plasticité et augmente la dureté du brique.

Les résultats des essais physiques ont été obtenus permettant de déterminer que les meilleurs résultats de la résistance à la flexion sont enregistrés à la température 850°C pour les quatre types des briques (MG2 : 3.76 MPa, le MG3 : 3.43 MPa et le MG4 : 3.94 MPa). Aussi pour la résistance à la compression du MG1 (23.89 MPa) MG 2 (20.25 MPa), MG3 (16.03 MPa) et MG4 (17.12 MPa), en revanche que parmi ces résultats le meilleur résultat de compression est enregistré par la brique MG1 à 100% argile à cause la teneur élevée de silicium (34.3%) et moins de calcium (31.7%) par rapport aux autres briques MG 2 (30.1% et 36.3%), MG3 (23.5% et 43.7%) et MG4 (26.3% et 39.9%) respectivement. L'augmentation des quantités de rejets phosphatés ajoutés, diminue la présence de silice, d'alumine et de fer résultant une perte dans la résistance à la compression.

Les résultats de la résistance à la flexion à la meilleure température 850°C de cuisson pour les quatre types de briques sont supérieurs 2,5MPa dans les normes de construction ASTM-C674, 1999. Ce travail va résoudre les problèmes de la production au niveau des briqueteries ainsi que la contamination des sols et des nappes phréatiques à la zone de Bir El Ater car les rejets étudiés contiennent un pourcentage de cadmium qui est très dangereux à la santé et l'environnement.

**Mots clés : Bir-ater, remila, Argile, terres cuites, Rejets phosphatés.**

## الملخص

في سياق حل بعض مشاكل صناعة الطين وكذلك الفضلات المنجمية، تركز هذه الدراسة على التعرف على خصائص طين منطقة سيدي عيش الرميّة بجاية وفضلات الفوسفات من منجم جبل العنق بهدف تثمينها في قطاع تصنيع الأجر.

في هذا العمل، نقدم حلاً جديداً، وهو دمج فضلات الفوسفات هذه في صناعة الأجر. لقد شرعنا في تصنيع الطوب من خلال دمج نسب مختلفة من الفضلات مع احترام المراحل المختلفة لتصنيع الأجر وتغيير درجة حرارة الفرن. تم رصد العديد من المعلمات والتحكم فيها

الكلمات المفتاحية: بنر العاتر، رميّة الطين الفوسفات

## Abstract

As part of solving some problems of the bricks industry as well as mining wastes, this study is focused on the characterization of the clays of the Sidi-Aiche Remila Bejaia region and the phosphate wastes from the Djebel Onk mine with a view to their valuation in the brick manufacturing sector.

In this work, we present a new solution, which is to incorporate these phosphate wastes into the building brick. We proceeded to the manufacture of brick by incorporating various percentages of the wastes while respecting the various stages of manufacture of brick and by varying the temperature. Several parameters were monitored and controlled.

Mineralogical and chemical study was carried out by several preliminary DRX, FRX, IR and SAA analysis methods, allowing to define the nature of the clay which is rich in: Silicon (34.9%), Aluminum (12.2%), Iron (11.6%) and Potassium (4.23%) compared to the phosphate waste Silicon (4.82%), Aluminum (1.35%), Iron (1.18%) and Potassium (0.510%). Phosphate discharges are characterized by high contents of: Calcium (71.4%) and Magnesium (5.90%) compared to clay: Calcium (30.6%) and Magnesium (2.21%). The presence of silicon (Si) in high levels generally plays a role of filler materials and generally used in the manufacture of bricks to reduce plasticity and increase the hardness of the brick.

The results of the physical tests were obtained allowing to determine that the best results of the flexural strength are recorded at the temperature 850 ° C for the four types of bricks (MG2: 3.76 MPa, MG3: 3.43 MPa and MG4: 3.94 MPa). Also for the compressive strength of MG1 (23.89 MPa) MG 2 (20.25 MPa), MG3 (16.03 MPa) and MG4 (17.12 MPa), on the other hand among these results the best compression result is recorded by brick MG1 at 100% clay with high silicon content (34.3%) and less calcium (31.7%) compared to other bricks MG 2 (30.1% and 36.3%), MG3 (23.5% and 43.7%) and MG4 (26.3% and 39.9%) respectively. The increased amounts of added phosphate rejects decreased the presence of silica, alumina and iron resulting in loss in compressive strength.

The flexural strength results at the best 850 ° C firing temperature for all four brick types are greater than 2.5MPa in construction standards ASTM-C674, 1999. This work will solve production problems at the level brickworks as well as soil and groundwater contamination in the

Bir El Ater area because the discharges studied contain a percentage of cadmium which is very dangerous to health and the environment.

**Key words: Bir-ater, remila, Clay, Phosphate release.**