



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Valorisation Des Ressources Minérales

Valorisation des rejets miniers pour la fabrication des terres cuites

Cas (les rejets phosphatés de la mine de Djebel Onk –Tébessa)

Présenté et soutenu par

GHOUL Oussama

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président :	H. BENZIAT	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	M. S. AOUATI	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	M. KRIM	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	A. AMIRECH	MCB	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2021-2022

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH

Tout d'abord, je tiens à remercier mes parents qui m'ont toujours soutenu, sans qui je n'aurais pas pu terminer mes études.

Un grand merci à mon encadreur, Mr AOUATI Salim, pour sa patience à mon égard et la confiance qu'il m'a accordée.

Je tiens également à remercier mes chers frères ainsi que mes oncles et tantes qui m'ont toujours encouragé.

Je tiens à remercier tout particulièrement :

Monsieur KHAZEN Zin elabidin, ingénieur des mines à SOMIPHOS.

Monsieur DJELLALI Adel enseignant en géotechnique.

Mes remerciements vont aussi, à tous mes amis Abdeljalil, Salah, Abderafik, Maamoun, Talal; à mes enseignants et tous mes collègues pour leur encouragement et leur aide.

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

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- *Mon très cher père, qui me nourrit toujours de ses sages conseils.*
- *Ma très chère mère, celle qui m'apporte toujours sans condition son amour.*
- *Mes chers frères Koussai, El maamoun et Badis.*
- *Mes chères amies.*
- *Tous mes professeurs.*
- *Tous mes amis et collègues.*

Oussama.

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 les rejets phosphatés de la mine de Djebel Onk en vue de leur valorisation dans la fabrication des terres cuites.

À cette étude, on a commencé par une étude bibliographique sur les phosphates et les argiles et avec un aperçu géologique. Puis, nous avons réalisé une caractérisation minéralogique, granulométrique, physique, chimique de ces argiles et les rejets phosphatés afin d'évaluer leur potentialités dans l'industrie des terres cuites.

Comme un résumé des résultats de ce travail, on a obtenu que les rejets (les fines de dépoussiérage et les boues de débouage) ayant des caractéristiques (Taux de calcaire, granulométrie) acceptable pour l'utilisation comme un ajout dégraissant puis un mélange d'argile et de rejet adéquat de nature plastique avec un taux de calcaire bas.

De plus, cette étude de valorisation permet de préserver les ressources naturelles non renouvelables (argile) exploitées intensivement et de réduire les quantités des rejets phosphatés et donc diminuer leur impact sur la santé humaine et l'environnement.

Mots clés : valorisation, caractérisation, Argile, terres cuites, Rejets phosphatés.

ملخص

في سياق حل بعض مشاكل صناعة الطين وكذلك نفايات التعدين، تركز هذه الدراسة على نفايات الفوسفات من منجم جبل العنق بهدف استعادتها في صناعة الاتربة النضيجة.

بدأت هذه الدراسة بدراسة ببلوغرافية عن الفوسفات والطين وبنظرة جيولوجية عامة. بعد ذلك ، أجرينا توصيفاً معدنيًا وحيبيياً وفيزيائياً وكيميائياً لهذه الطين وتصريفات الفوسفات من أجل تقييم إمكاناتها في صناعة الطين.

كمخلص لنتائج هذا العمل ، تم الحصول على أن التصريفات (الغرامات الناتجة عن إزالة الغبار والحمأة من الترسيب) لها خصائص (محتوى الترسبات الجيرية ، قياس الحبيبات) مقبولة للاستخدام كإضافة لإزالة الشحوم ثم خليط من الطين ورفض مناسب ذات طبيعة بلاستيكية تحتوي على نسبة منخفضة من الجير.

بالإضافة إلى ذلك ، نتيج دراسة التثمين هذه الحفاظ على الموارد الطبيعية غير المتجددة (الطين) التي يتم استغلالها بشكل مكثف وتقليل كميات تصريف الفوسفات وبالتالي تقليل تأثيرها على صحة الإنسان والبيئة.

الكلمات المفتاحية : التثمين، توصيف، الطين، الطين النضيج، بقايا الفوسفات

Abstract

In the context of solving some problems of the fired earths industry as well as mining waste, this study focuses on the phosphate waste from the Djebel Onk mine with a view to their recovery for making terracotta.

This study began with a bibliographic study on phosphates and clays and with a geological overview. Then, we carried out a mineralogical, granulometric, physical and chemical characterization of these clays and the phosphate discharges in order to assess their potential in the fired earths industry.

As a summary of the results of this work, it was obtained that the discharges (fines of dust removal and sludge of settling) having characteristics (limescale content, granulometry) acceptable for use as a degreasing addition then a mixture of clay and adequate rejection of a plastic nature with a low lime content.

In addition, this valorization study makes it possible to preserve non-renewable natural resources (clay) that are intensively exploited and to reduce the quantities of phosphate discharges and therefore reduce their impact on human health and the environment.

Keywords: valorization, characterization, clay, fired earths, phosphate release.

Liste des Notations

- ρ : la masse volumique (kg/m^3)
- W : la teneur en eau (%)
- IP : Indice de plasticité
- w_L : Limite de liquidité
- w_P : Limite de plasticité
- Abs : Absorption d'eau (%)

Liste des figures

N°	Titre de figure	Page
I.01	Carte de situation géographique de Djebel Onk	3
I.02	Coupe stratigraphique schématique du Djebel Onk	4
I.03	Carte de situation géographique et géologique des gisements	5
I.04	Schéma technologique de la préparation mécanique	8
I.05	Schéma technologique de l'atelier de Dépoussiérage (Voie Sèche)	9
I.06	Schéma de l'appareillage de Débourage.	10
I.07	Schéma technologique de l'atelier de débourage.	11
I.08	Situation géographique et Administrative de la plaine EL MALABIOD	13
I.09	Représentation en 3D.de la plaine d'EL MALABIOD.	14
I.10	Carte géologique de la région d'EL MALABIOD	15
I.11	Carte d'égale épaisseur des sables	16
I.12	Carte d'égale épaisseur des Grès	16
I.13	Carte d'égale épaisseur des Argiles sableuses	17
II.1	Une roche du phosphate	18
II.2	Structure chimique d'un phosphate PO_4	19
II.3	Carte géologique des gisements de phosphate actuellement en exploitation au monde.	22
II.04	carte de principaux gisements de phosphate en Algérie	24
II.05	Formation des argiles sous les conditions environnementales	29
II.06	la structure des principaux minéraux argileux.	30
II.07	production des argiles par statut juridique : année 2011	32
II.08	Production des argiles par wilaya : année 2011	33
II.09	Production des argiles (Tonnes) : année 2011, Top dix wilayas	33
III.01	Opération de quartage	35
III.02	Plan d'analyse des échantillons quotidiens	36
III.03	Courbe d'analyse granulométrique des boues de débourage	37
III.04	Courbe d'analyse granulométrique des fines de dépoussiérage	38
III.05	Schéma d'auto analyseur	39
III.06	auto-analyseur	40
III.07	Histogramme des teneurs en P_2O_5 des rejets phosphatés	41
III.08	Interaction rayonnement matière	42
III.09	Schéma de principe du spectrophotomètre d'absorption atomique	42
III.10	Spectrophotomètre d'absorption atomique	43
III.11	Histogramme des teneurs en MgO des rejets phosphatés	44
III.12	Appareil de Calcimètre de BERNARD	45
III.13	Histogramme des teneurs en CO_2 des rejets phosphatés	47
III.14	Appareillage de détection dosage de calcaire	48

III.15	Histogramme des teneurs en CaCO ₃ des rejets phosphatés de débouage et de dépoussiéage	48
III.16	-a) Tamiseuse ; -b) Argile	50
III.17	Courbe d'analyse granulométrique d'argile rouge	51
III.18	Histogramme des teneurs des éléments chimiques d'argile.	52
III.19	-a)Appareil de casagrande ;-b Etuve	55
III.20	Quelques photos de l'essai de limite d'atterberge	55
III.21	Courbe de limite de liquidité de la coupelle de Casagrande	57
IV.01	Histogramme des teneurs en CaCO ₃ des Refus de débouage+1mm avec l'argile jaune	60
IV.02	Histogramme des teneurs en en CaCO ₃ des boues de débouage avec l'argile jaune	60
IV.03	Histogramme de la limite d'atterberge du mélange des fines de dépoussiéage avec l'argile (par pourcentage).	64
IV.04	Histogramme de l'indice de plasticité du mélange des boues de débouage avec l'argile (par pourcentage).	65

Liste des Tableaux

N °	Titre de tableau	page
I.1	Composition minéralogiques du minerai de phosphate de Djebel Onk	6
I.2	Répartition TPL en fonction de dimensions des grains	7
I.3	Propriétés des principaux constituants	7
II.1	Différents minéraux de phosphate	21
II.2	Production et réserves mondiales par pays de phosphate naturel en 2020/21	26
II.3	La consommation mondiale de phosphate en agriculture 2019/20	26
III.1	L'analyse granulométrique des boues de débouillage	37
III.2	L'analyse granulométrique des fines de dépoluiliéragé	38
III.3	Analyse chimique de teneur en P ₂ O ₅ des rejets phosphatés	41
III.4	Analyse chimique de teneur en MgO des rejets phosphatés	44
III.5	Analyse chimique de teneur en CO ₂ des rejets phosphatés	46
III.6	Analyse chimique de teneur en CaCO ₃ des rejets phosphatés de débouillage et de dépoluiliéragé	48
III.7	Analyse granulométrique de l'argile	51
III.8	Composition chimique	52
III.9	Analyse chimique de teneur en CaCO ₃ des argiles.	52
III.10	La masse volumique	53
III.11	La teneur en eau	54
III.12	le degré de saturation par l'indice de plasticité	56
III.13	limite de liquidité de la coupelle de casagrande	56
III.14	limite d'atterberge	57
III.15	l'absorption d'eau.	58
V.1	analyse chimique de teneur en CaCO ₃ des fines de dépoluiliéragé avec l'argile jaune	59
V.2	Analyse chimique de teneur en CaCO ₃ des boues de débouillage avec l'argile jaune	60
V.3	limite d'atterberge (10% de rejets et 90% d'argile)	62
V.4	limite d'atterberge (20% de rejets et 80% d'argile)	63
V.5	limite d'atterberge (30% de rejets et 70% d'argile)	63
V.6	limite d'atterberge (40% de rejets et 60% d'argile)	63
V.7	limite d'atterberge (10% de rejets et 90% d'argile)	64
V.8	limite d'atterberge (20% de rejets et 80% d'argile)	64

V.9	limite d'atterberge (30% de rejets et 70% d'argile)	65
V.10	limite d'atterberge (40% de rejets et 60% d'argile)	65

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des notations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale1

Chapitre I : Géologie et chaîne de traitement

Introduction.....3

I.1. Djebel Onk3

I.1.1. Aperçu géologique de Djebel Onk :.....3

I.1.1.1. Situation géographique3

I.1.1.2. Litho stratigraphie régionale.....4

I.1.1.3. les gisements du phosphate de Djebel Onk.....4

I.1.2. Géologie du gisement.....5

I.1.3. Compositions minéralogiques de minerai phosphaté de Djebel Onk.....5

I.1.4. Propriétés du minerai de Djebel Onk.....6

I.1.4.1. Caractéristiques de texture.....6

I.1.4.2. Caractéristiques structurelles.....7

I.1.5. Les réserves géologiques.....7

I.1.6. Chaîne de traitement.....8

I.1.6.1. Préparation mécanique.....8

I.1.6.2. Secteur de traitement par voie sèche.....9

I.1.6.3. Secteur de traitement par voie humide.....10

I.1.7. Production des rejets.....12

I.2. La région d'El malabiod12

I.2.1. Situation géographique.....12

I.2.2. Topographie.....14

I.2.3. Activités industrielles.....14

I.2.4. Cadre Géologique.....14

I.2.5. Les cartes isopaches15

I.2.5.1. carte d'égal épaisseur des sables.....15

I.2.5.2. Carte d'égal épaisseur des grès.....16

I.2.5.2. Carte d'égal épaisseur des argiles sableuses.....	17
--	----

Chapitre II : Etude bibliographique

II.1. le phosphate.....	18
II.1.1. Définition.....	18
II.1.2. Origine des apports phosphatés.....	19
II.1.3. Les types de phosphate.....	20
II.1.3.1. Phosphates organiques (organophosphates)	20
II.1.3.2. Phosphates inorganiques.....	21
II.1.3.3. Autres types de phosphates.....	21
II.1.4. Les différents minéraux de phosphate.....	21
II.1.5. les gisements du phosphate.....	22
II.1.5.1. Au monde.....	22
II.1.5.2. En Algérie.....	23
II.1.6. les réserves et la production du phosphate.....	24
II.1.6.1. En Algérie.....	24
II.1.6.2. Au monde.....	26
II.1.7. La consommation du phosphate au monde.....	26
II.1.8. Domaine d'utilisation des Phosphates.....	27
II.2. Les argiles.....	27
II.2.1. Définition.....	27
II.2.2. Origines géologiques.....	28
II.2.2.1. L'héritage.....	28
II.2.2.2. La transformation.....	28
II.2.2.3. La néoformation.....	28
II.2.3. Formation de l'argile.....	28
II.2.4. Structure des argiles.....	29
II.2.5. les familles des argiles.....	30
II.2.6. Utilisation des argiles.....	31
II.2.7. Production des argiles en Algérie.....	32

Chapitre III : Caractérisation des rejets phosphatés et l'argile d'El Malabiod

Introduction	34
III.1. Caractérisation des rejets.....	34
III.1.1. Analyse granulométrique.....	37
III.1.1.1. Analyse granulométrique des boues de débouage.....	37
III.1.1.2. Analyse granulométrique des fines de dépoussiéage.....	38
III.1.2. Analyses chimique.....	38
III.1.2.1. Dosage du P ₂ O ₅ par la méthode spectrophotométrie automatique (Auto analyseur).....	39

III.1.2.2. Dosage du Magnésium MgO par absorption atomique.....	42
III.1.2.3. Dosage de l'anhydride carbonique (Par Calcimètre de BERNARD).....	45
III.1.2.4. Dosage du calcaire.....	47
III.2. Caractérisation des argiles.....	49
II.2.1. Analyse granulométrique.....	50
III.2.1.1. Fractions grossières.....	50
III.2.2. Analyses chimiques.....	52
III.2.3. Essais physiques.....	53
III.2.3.1. La masse volumique.....	54
III.2.3.2. La teneur en eau.....	54
III.2.3.3. Les limites d'atterberge.....	55
III.2.4. Absorption d'eau.....	58
III.3. Conclusion.....	59

Chapitre IV : Cadre méthodologique et résultats

Introduction.....	60
IV.1. Analyse chimique.....	60
IV 1.1. Dosage du calcaire.....	60
IV.2.1. Essais physiques	62
IV.2.2.. Les limites d'atterberge.....	62
IV.2.1.1. Pour les fines de dépoussiérage.....	63
IV.2.1.2. Pour les boues de débouage.....	65
IV.3. Discussion et conclusion.....	67
Conclusion générale.....	67

INTRODUCTION
GENERALE



Introduction Générale

La conservation des ressources et de l'environnement est un sujet d'actualité essentiel à toute industrie, et l'industrie des guerriers en terre cuite ne fait pas exception règles, cet art peut être compatible avec les exigences de notre temps, qu'il s'agisse en termes d'économie de matériaux ou de protection de l'environnement

N'oublions pas que l'argile est un problème majeur qui menace l'industrie de la terre cuite de plus en plus rare

Aujourd'hui, de nombreuses industries différentes génèrent des déchets, qui peuvent être un moyen de prolonger la durée de vie de l'argile ou d'augmenter la rentabilité de la production.

Ainsi, dans les prochaines pages, nous tenterons d'apporter une contribution modeste de la terre cuite en incorporant des résidus phosphatés dans la production de briques.

La méthode expérimentale de formulation des briquettes est principalement basée sur le mélange d'argile comme matière première et de divers déchets comme additifs jusqu'à l'obtention de briquettes parfaites répondant aux exigences de la fabrication de l'argile.

La protection de l'environnement dans la région de Bir El ater consiste principalement à optimiser les matières premières produites et à savoir utiliser les déchets afin qu'ils puissent être ajoutés à l'argile de la région d'el ma labiod pour fabriquer des briques.

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

- Le premier chapitre présente la géologie et la chaîne de traitement (fabrication) de phosphate et l'argile.
- Le deuxième chapitre consacré à l'étude bibliographique
- Les chapitres 03 et 04 sont consacrés à des études expérimentales qui concernent la caractérisation des rejets phosphatés ainsi que la caractérisation de l'argile afin de pouvoir les mélanger pour obtenir un mélange qui est destiné à la fabrication des terres cuites.

À l'issue des analyses et de l'interprétation des résultats obtenus, la sélection la plus adaptée des briquettes répondant aux exigences industrielles a été faite.

Introduction Générale

La mémoire se termine par une conclusion, d'explications pour utiliser les rejets phosphate dans la fabrication des terres cuites.

CHAPITRE I
GEOLOGIE ET CHAINE
DE TRAITEMENT



Introduction:

L'Algérie est célèbre pour ses divers secteurs industriels et ses ressources naturelles, telles que l'industrie de la brique, les phosphates, etc. Ce chapitre traite de la géologie du gisement de phosphate du Djebel Onk et du gisement d'argile de la zone el ma labiod et de la chaîne de traitement de la roche phosphatée du Djebel Onk à Tébessa

1. Djebel Onk

1.1. Aperçu géologique de Djebel Onk

1.1.1. Situation géographique

Le gisement de DJEBEL ONK est situé au Nord-est du Sahara Algérien précisément à l'Est des monts de Nememcha à une vingtaine de kilomètres de la frontière Algéro-tunisienne.

La région appartient à la wilaya de TEBESSA, dont laquelle est éloignée d'environ 100 km, la localisation la plus importante est la ville de BIR EL ATER. Le gisement est relié à BIR AL-ATER par une route goudronnée (Route nationale N°16 passent de ANNABA vers AL-OUED), et une autre voie de chemin de fer servant au transport des phosphates vers les installations portuaires d'ANNABA éloigné de 340 km [13].

Topographiquement le massif de Djebel El Onk formé un ensemble calcaire de 20 km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya. Ce massif constitue l'extrémité orientale des monts de Nememcha qui prolonge vers l'Est le massif des Aurès. Les altitudes les plus basses au pied du Djebel El Onk sont d'environ 635m [14].

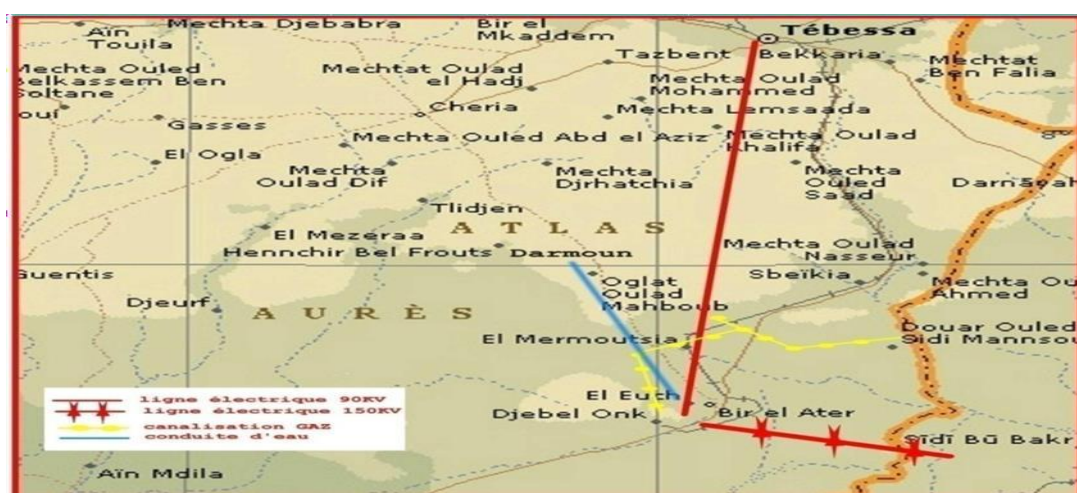


Figure. 01: Carte de situation géographique de Djebel Onk

1.1.2. Litho stratigraphie régionale [13]

La carte géologique montre que la série sédimentaire affleurant de la région du Djebel Onk comprend une succession stratigraphique allant du Crétacé supérieur (Maestrichtien) à l'Eocène moyen (Lutétien), cette série est marine, recouverte en Discordance par une épaisse série Sablo - Argileuse continentale d'âge Miocène, puis le quaternaire (Alluvions, Eboulis).

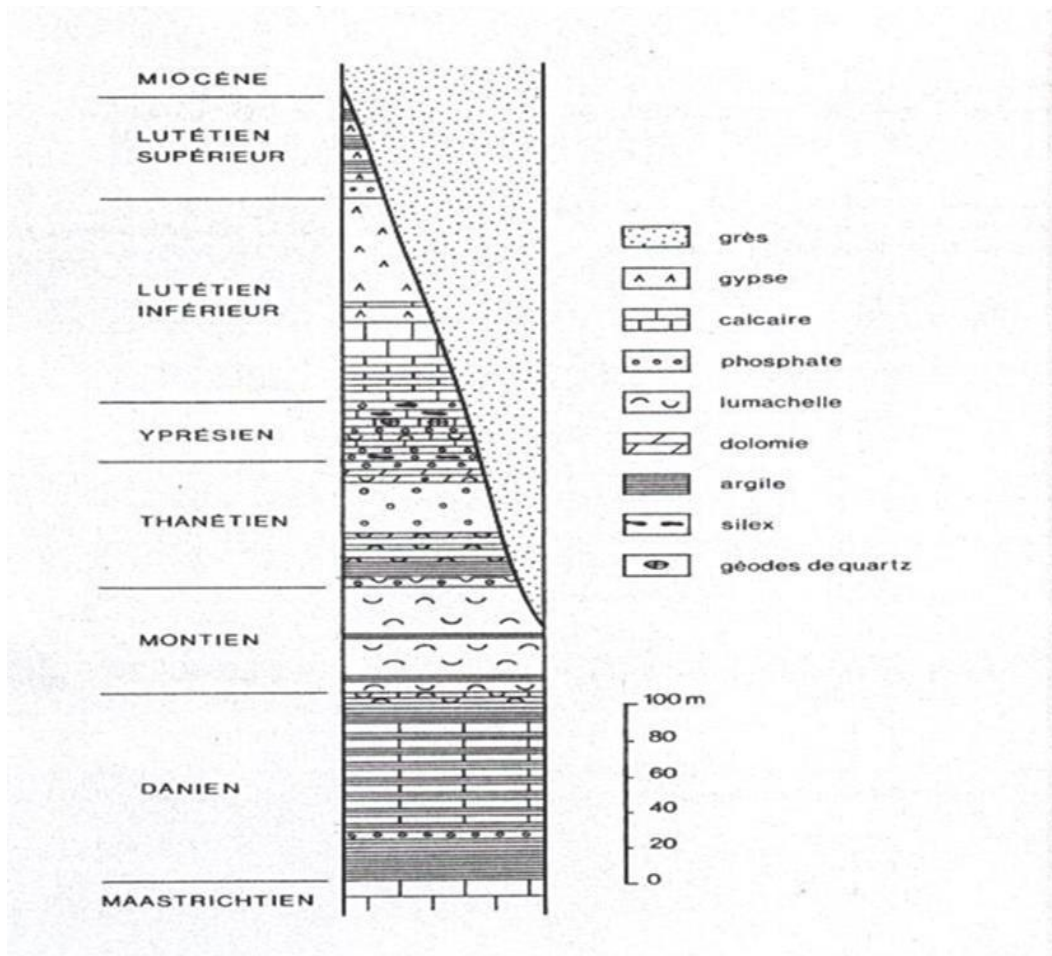


Figure 02 : Coupe stratigraphique schématique du Djebel Onk [13]

1.1.3. Les gisements du phosphate de Djebel Onk [13] :

Il existe 5 secteurs de gisements de phosphate au niveau de DJEBEL ONK :

- Djemi – Djema
- Kef Essenoun
- Djebel El Onk Nord
- Oued Betita
- Bled El Hadba.

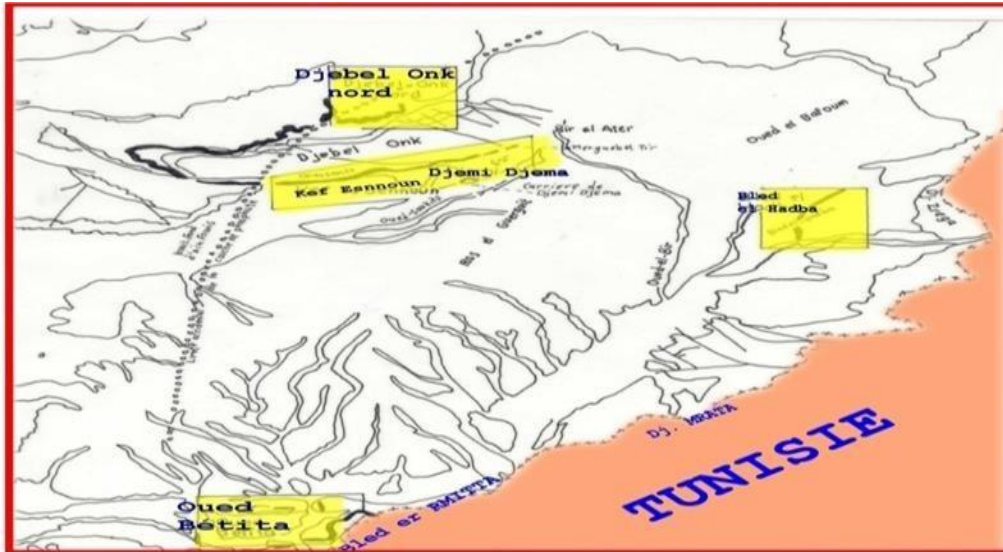


Figure.03 : Carte de situation géographique et géologique des gisements [15].

1.2. Géologie du gisement [13]:

Le minerai de phosphate de DJEBEL ONK est de nature sédimentaire stratiforme, le massif est un anticlinal asymétrique orienté Nord-Nord Est, le flanc Nord présente des pentes inférieures à 150m, par contre le flanc sud au contraire plonge très rapidement et forme une falaise impressionnante avec des pentes dont le pendage est parfois vertical. L'ensemble est affecté de failles et de décrochements nombreux à 750 m au sud de DJEBEL-ONK apparaît un second anticlinal, le dôme est actuellement en exploitation dont la structure est analogue, mais dont les dimensions sont plus modernes.

Le gisement est caractérisé par une formation thanétienne dont la base est caractérisée par l'apparition des premiers dépôts de phosphate importants mais fortement argileux. Ces couches succèdent des marnes noires puis l'assise phosphatée, principale puissance du mur au toit d'une centaine de mètres, formée de neuf couches identifiables sans intercalations stériles.

La gangue argileuse de sa partie inférieure, puis devient dolomitique dans la partie supérieure. La dolomite et le phosphate disparaissent au même temps au passage du thanécien à l'hyppression. Étant donné que le minerai noir est de nature carbonatée dolomitique.

1.3. 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.

Tableau 01 : Composition minéralogiques du minerai de phosphate de Djebel Onk [13].

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

1.4. Propriétés du minerai de Djebel Onk [16]

Le croquis actuel de l'enrichissement en usine de Djebel Onk est caractérisé par les deux propriétés minérales suivantes:

1.4.1. Caractéristiques de texture

Le phosphate est constitué de grains de dimensions de l'ordre de 0,5 mm. En effet, l'analyse chimique (tableau 02) des différentes coupes montre que le minéral est riche en grains avec des dimensions comprises entre 0,08 et 0,8 mm. Selon la courbe, une séparation de tranche (- 0,6 + 0,08) permet d'obtenir un concentré riche. Cette séparation devient plus facile à cause de la gangue stérilisée (carbonate de calcium cristallisé, calcite, dolomite et argile) qui est plus douce que le phosphate tri-calcaire. Un broyage sélectif et un lavage permettent de réduire cette matrice à un état raffiné sans casser les grains de phosphate. La voie sèche et l'atelier de démolition, utilisent cette propriété dans la procédure d'enrichissement.

Tableau 02: Répartition TPL en fonction de dimensions des grains [16].

d (mm)	0.080	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	1.00
TPL %	57.00	63.50	64.60	65.00	62.60	61.40	54.00

1.4.2. Caractéristiques structurales

Le phosphate de Djebel Onk est une matrice carbonatée. Une simple torréfaction à une température de 900 à 950 ° C permet la réduction de la dolomie, de la magnésite et de la calcite en périclase et en chaux. Ce dernier, en tant que bing, une addition toxique peut être éliminée du minéral riche par un traitement hydrométallurgique après suppression dans l'eau. L'atelier de calcination et de lavage utilise cette propriété comme base dans la méthode d'enrichissement (tableau 03)

Tableau 03: Propriétés des principaux constituants [16]

composition	Densité (g/cm ³)	Dureté	Teneur %
Ca ₃ (PO ₄)	3-3.5	5	26.00
CaCO ₃	2.72	2.5-3	48.05
MgCO ₃	3-3.2	3.5-4.5	0.50
Al ₂ O ₃	2.5	Floconneux	0.80
Fe ₂ O ₃	5.26	5-6	0.70
CaSO ₄	2.32	2	--
Na ₂ Ca(SO ₄)	2.8	25-3	--

1.5. Les réserves géologiques [14]:

Tableau.04 : La valeur des réserves de phosphate de Djebel Onk [14]

Gisements	Djemi-Djema	Kef Essenoun	Oued Bétita	Bled Hadba	Dj.Onk-nord
Réserves	613217634t	510778161t	175000000t	799689850t	92000000t
Ciel ouvert	214067634t	187278161t	-	319689850t	31000000t
Sous terrain	399150000t	323500000t	175000000t	480000000t	61000000t

1.6. Chaîne de traitement [13]

L'usine de traitement se situe à proximité des gites en exploitation, plus précisément à 2,5 Km du site de Kef-Essnoun et à moins de 1000m du site de Djemi- Djma, ce qui rend l'alimentation de tout venant issue de ces carrières facile et moins coûteuse.

1.6.1. Préparation mécanique

La préparation mécanique est destinée à réduire les dimensions des morceaux du minerai pour le but de libérer les composants utiles de leur gangue. Elle peut être effectuée en une ou plusieurs étapes car elle dépend de plusieurs facteurs tels que : les dimensions du minerai (tout-venant), ainsi que sa dureté et sa composition minéralogique et le rendement des appareils utilisés et leurs consommation de l'énergie.

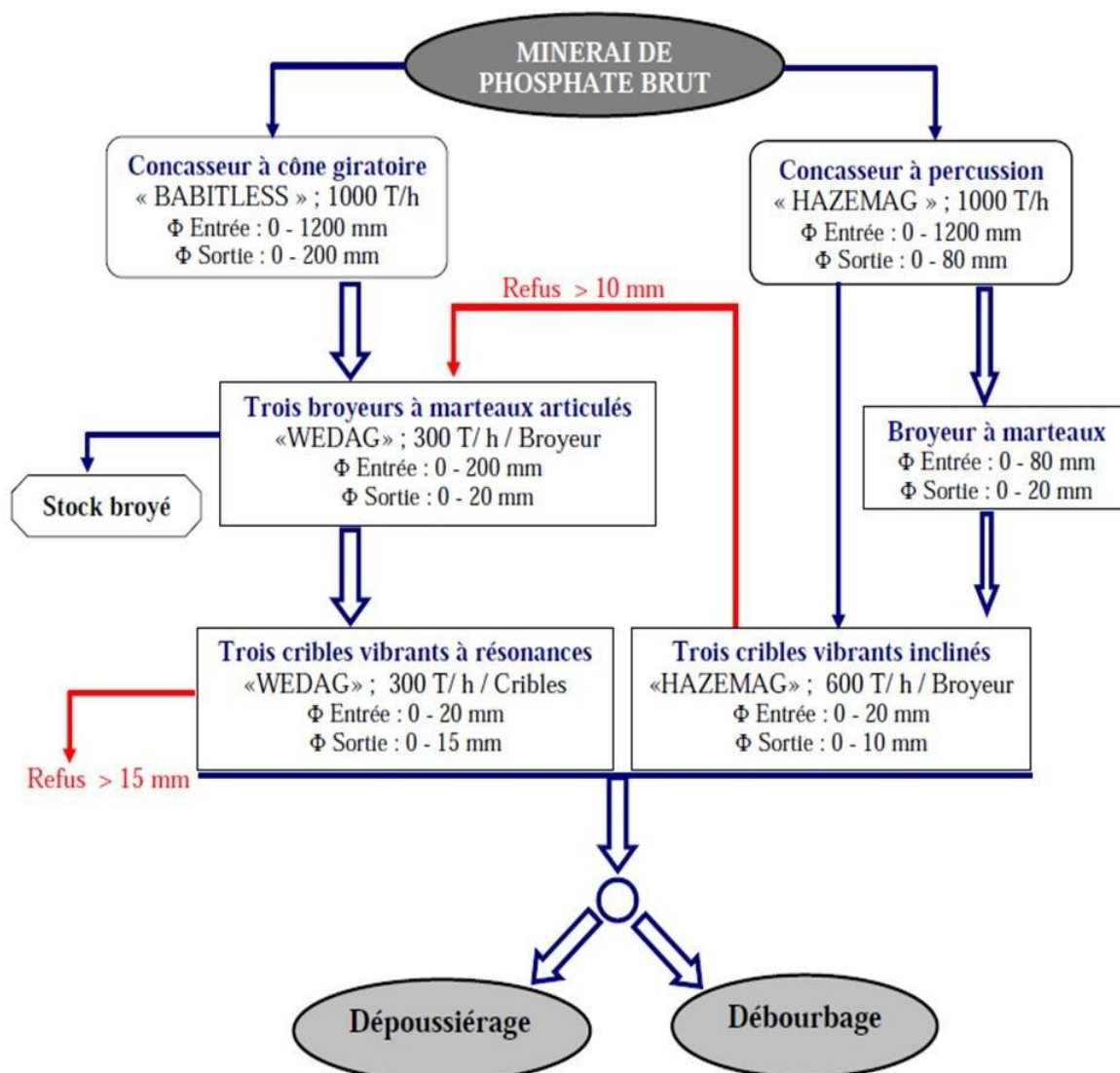


Figure 04 : Schéma technologique de la préparation mécanique.

1.6.2. Secteur de traitement par voie sèche

La moitié des produits criblés (-15mm) provenant de l'atelier de préparation mécanique, avec un pourcentage de TPL varie de 57 à 59% et une humidité qui varie de 3 à 7% sont acheminés vers l'atelier de dépeussierage qui est conçu pour les enrichir à sec et les ramener à une qualité commerciale de 63 à 65% TPL du produit normal et de 66 à 68 % de produit spécial avec 1 % d'humidité.

TPL : Phosphate très calcique (triple phosphore line), est égale à $2,185 P_2O_5$.

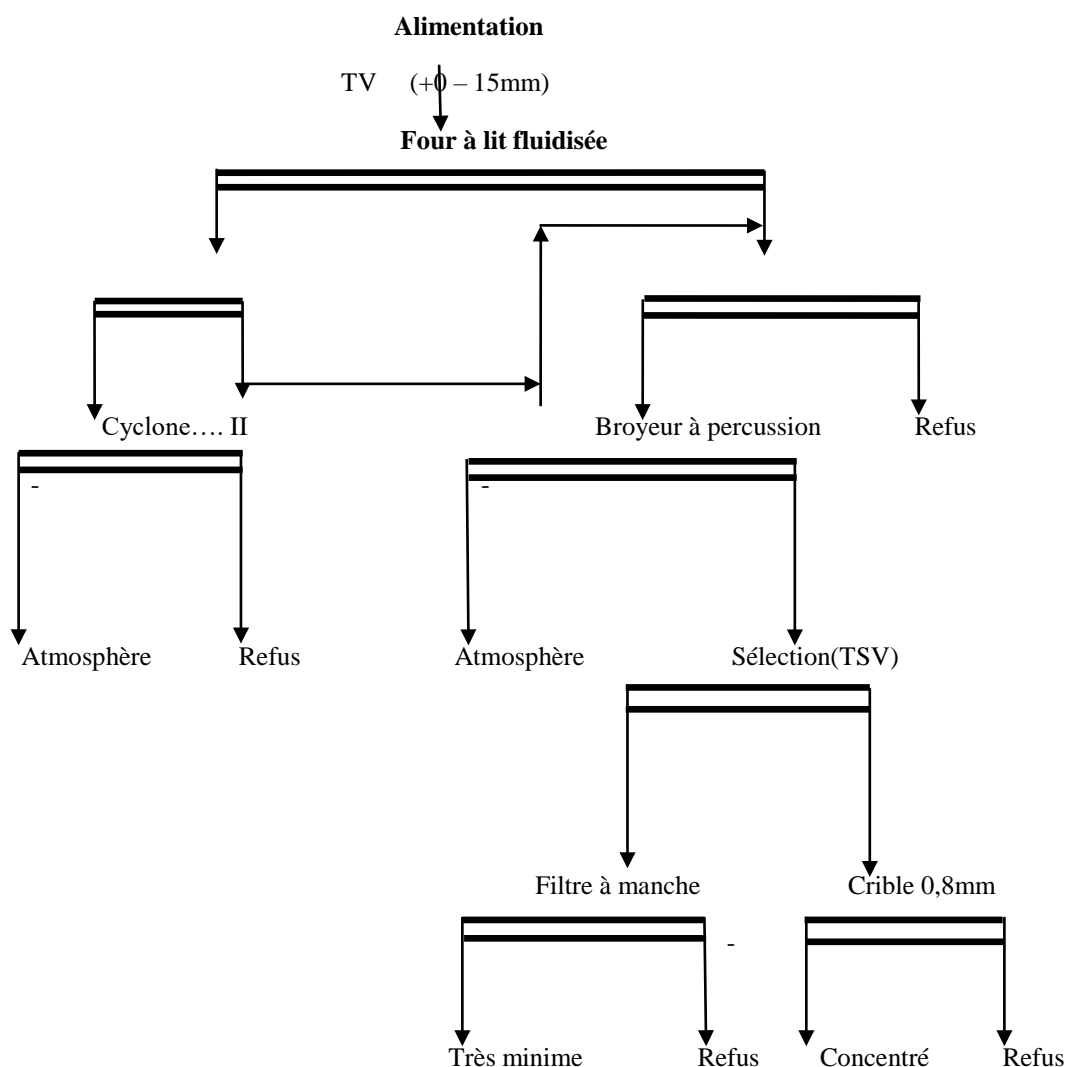


Figure 05 : Schéma technologique de l'atelier de Dépeussierage (Voie Sèche).

1.6.3. Secteur de traitement par voie humide

Le traitement du phosphate par voie humide a pour but d'enrichir le minerai jusqu'à une teneur d'environ 62% à 64% en TPL et réduire au maximum les teneurs en éléments grossiers et fins pauvres en phosphate, avec un rendement en poids moyen de 73 %. Cette voie comporte les sections suivantes :

- 1) Section de la mise en pulpe.
- 2) Section de débouillage.
- 3) Section de séchage

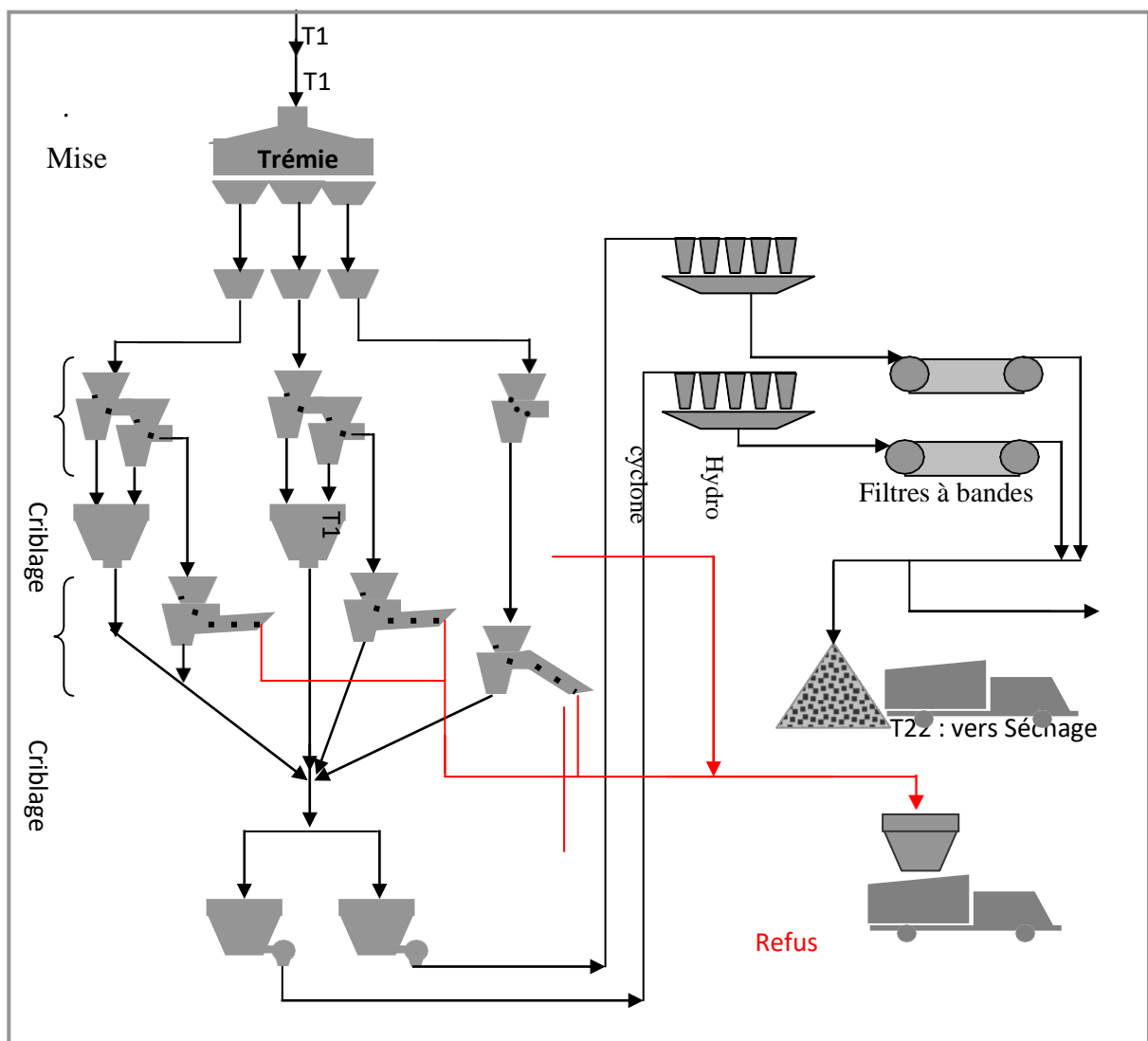


Figure.06 : Schéma Technologique du débouillage [15].

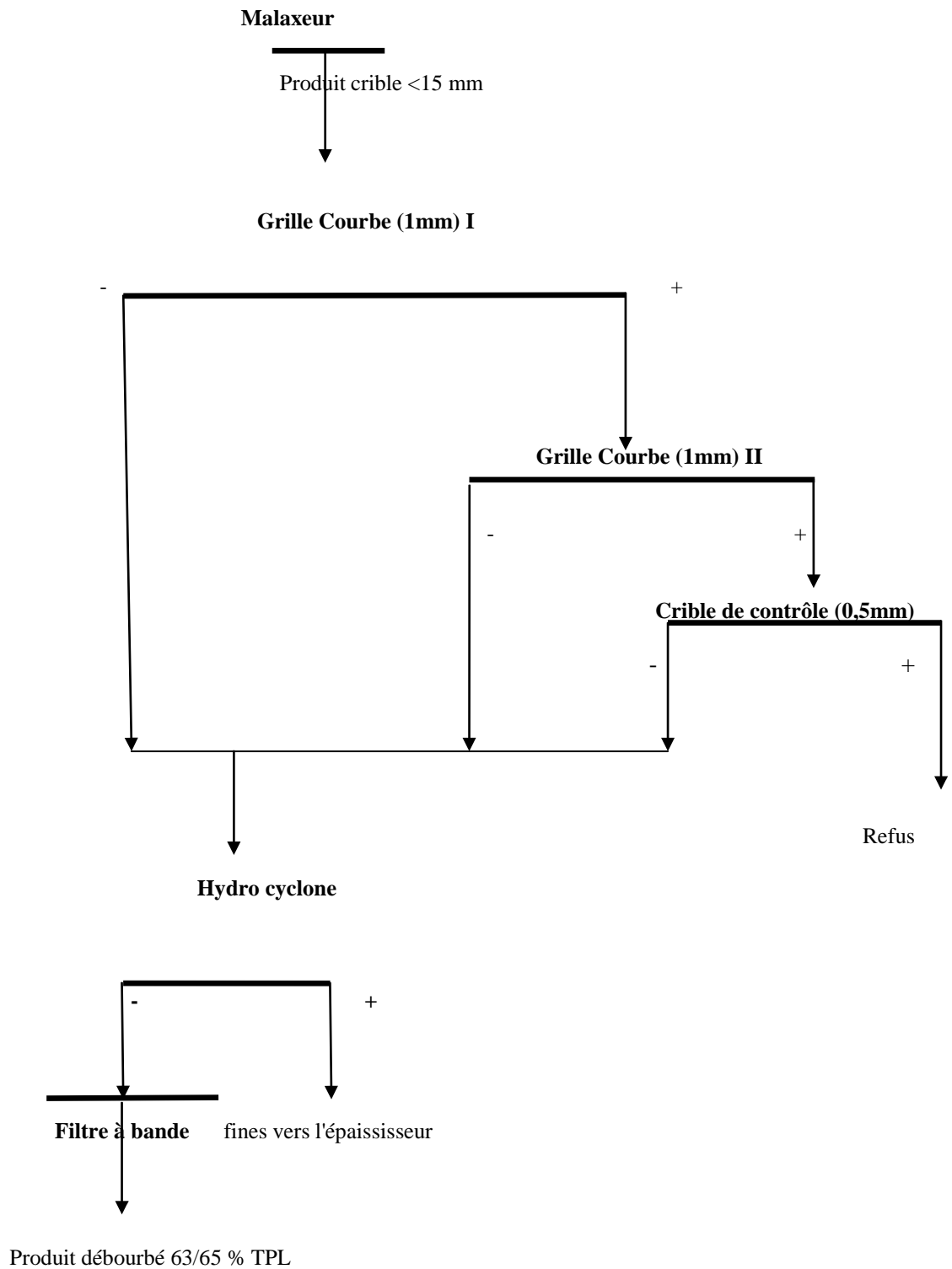


Figure 07 : Schéma technologique de l'atelier de débouage.

1.7. 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 dépoussiérage
 - Les refus + 1 mm de dépoussiérage
 - Les fines de dépoussiérage

À l'état actuel les rejets produits sont :

- 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

2. La région d'El Malabiod

2.1. Situation géographique [1]

EL MALABIOD est une circonscription administrative de Tébessa, dont elle est distante de 28,7km. Elle est l'une des Daïrates que compte la wilaya qui, elle-même, est située au Nord-Est algérien. Selon le découpage administratif, ses confins sont:

- La Daïra d'Oum Ali, au Sud.
- La frontière algéro-tunisienne, à l'Est.
- La ville de Tébessa, au Nord.
- La Daïra de Chéria, à l'Ouest.

Le bassin D'EL MALABIOD, sujet de notre étude, appartient aux hautes plaines orientales de l'Atlas saharien. Il est par conséquent, l'un des constituants du grand bassin du Chott Melhrir. Ses limites naturelles sont :

- Au Nord, une ligne de crête regroupant les Djebels, Doukkane, El Khenga, Bouroumane
- Au Sud, les monts de Boudjellal, El Guelia et Ed'Dalâa.
- À l'Ouest, Guebel Er'Rouiss et Draâ Douamiss.
- À l'Est, Djebel El Kechrid et Koudiet sidi Salah qui matérialise les confins du côté du territoire tunisien.

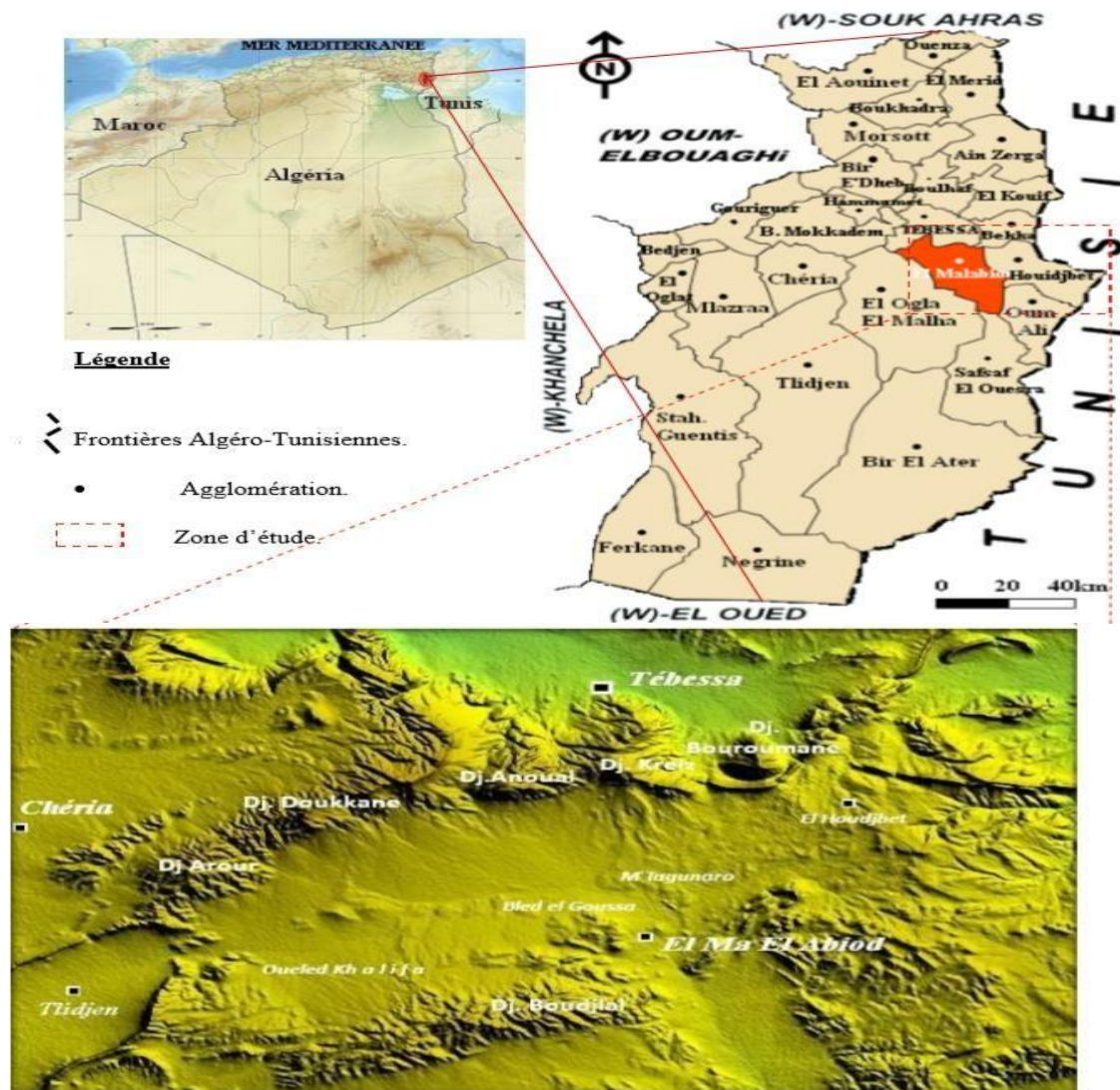


Figure. 08 : Situation géographique et Administrative de la plaine EL MALABIOD [1].

2.2. Topographie [2]

La région d'EL MALABIOD présente une allure de cuvette. Son altitude varie entre 1050m (au centre de la cuvette) et 1300m vers le nord de la région étudiée (le sommet le plus haut de la région est le djebel Doukkane situé au nord et qui présente une altitude de 1712m). La partie centrale de la région est constituée d'une plaine enserrée par des montagnes escarpées au nord et au sud.

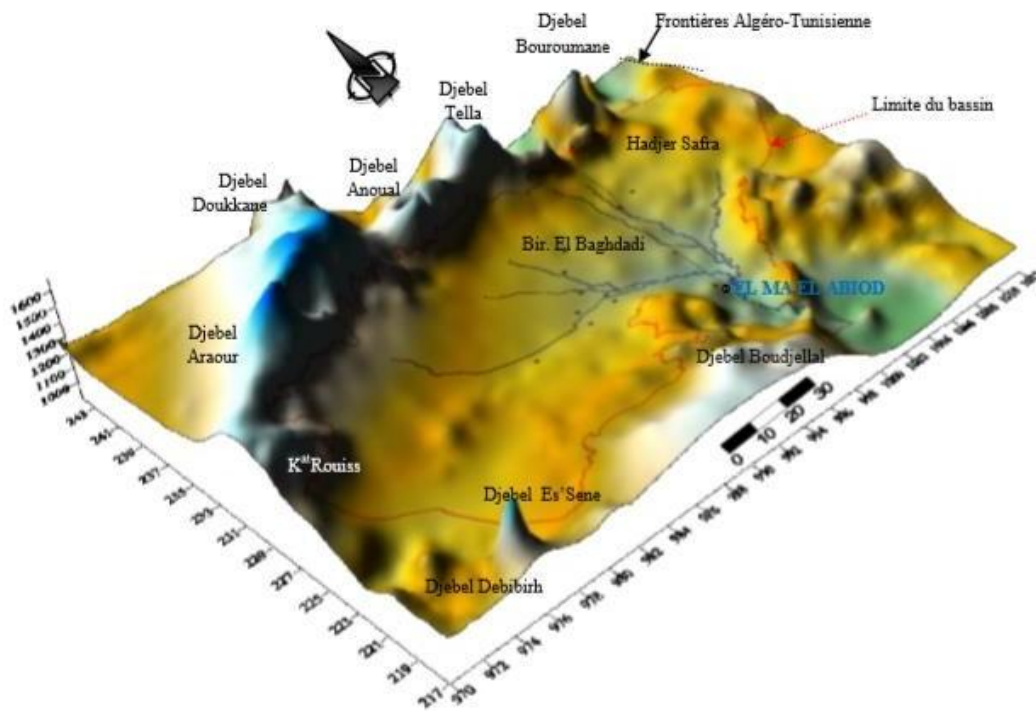


Figure. 09 - Représentation en 3D.de la plaine d'EL MALABIOD [1]

2.3. Activités industrielles

Le réveil, quant à l'activité industrielle, ne s'est fait sentir que très récemment, et ce n'est qu'au début des années 90, du siècle écoulé, que la région voit s'édifier sa première usine ; filiale société de ciment et dérivés de Tébessa (ciment Portland), suivie de la fabrique du verre (ENAVA) et ensuite l'entreprise nationale des tubes roulés et transformation des produits métalliques (ANABIB), qui sont un acquis et un moyen de développement.

2.4. Cadre Géologique [3]

La zone d'étude fait partie de l'atlas saharien elle correspond à une plaine à pente douce ayant pour limites Nord et Sud des plis d'axes SW-NE. La limite Nord constitue la ligne de partage des eaux entre le bassin versant de la Medjerrdah et le bassin versant de chott Melhrir.

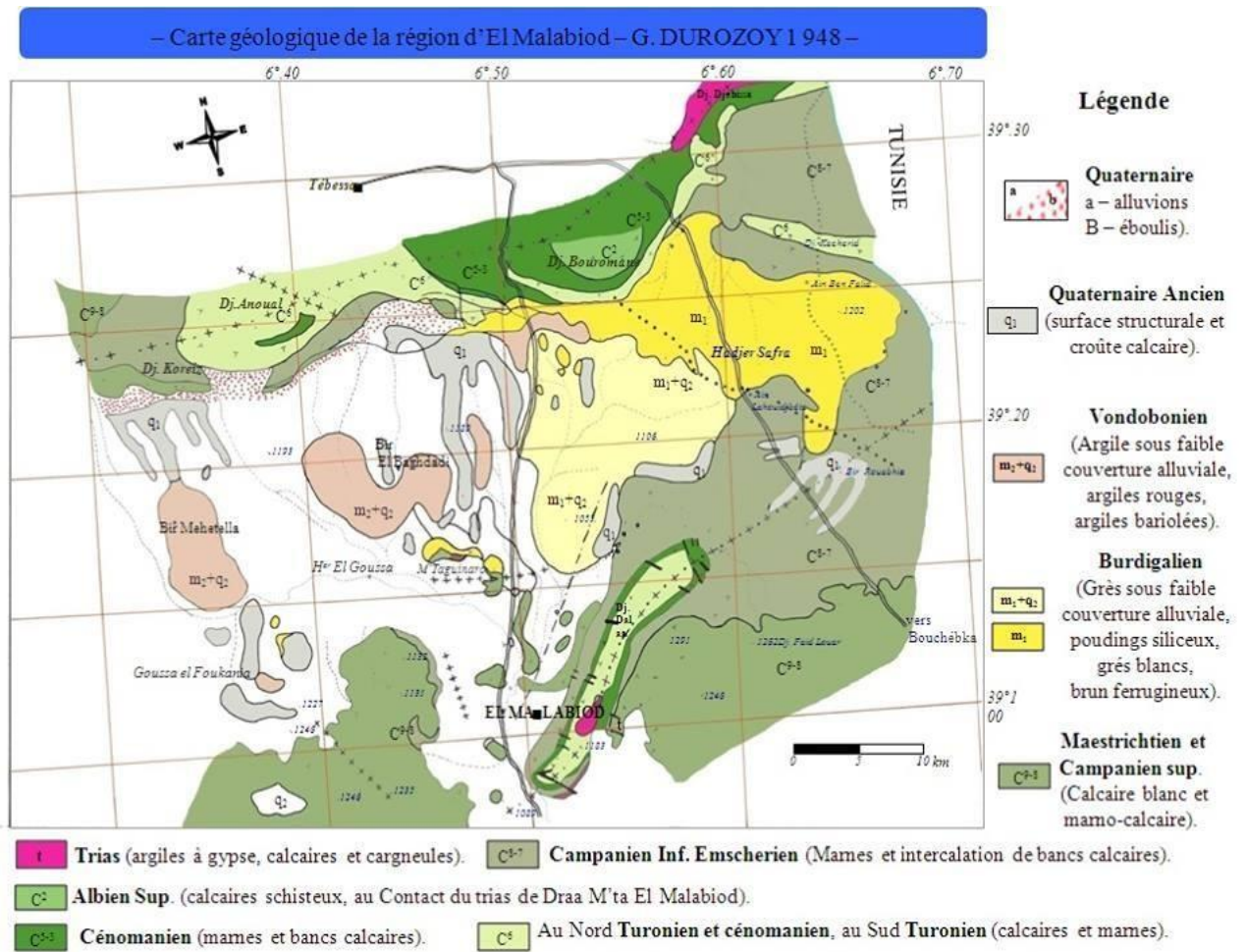


Figure .10 : Carte géologique de la région d'EL MALABIOD

2.5. Les cartes isopaches [4]

C'est une représentation graphique en courbes dites isopaches, des horizons aquifères, cités plus haut ; les sables, les grès aussi, ainsi que les argiles sableuses, pour lesquels, épaisseur et coordonnées, ont pu être déduites dans les divers sondages électriques.

2.5.1. Carte d'égale épaisseur des sables

Leur répartition n'est pas uniforme ; en effet, à l'Ouest de la région, ils sont connus par une faible extension sur des épaisseurs allant jusqu'à 65m. Elle commence à prendre de l'envergure et devient plus importante au centre et à l'Est, avec des épaisseurs qui peuvent atteindre respectivement les 100 et les 145m.

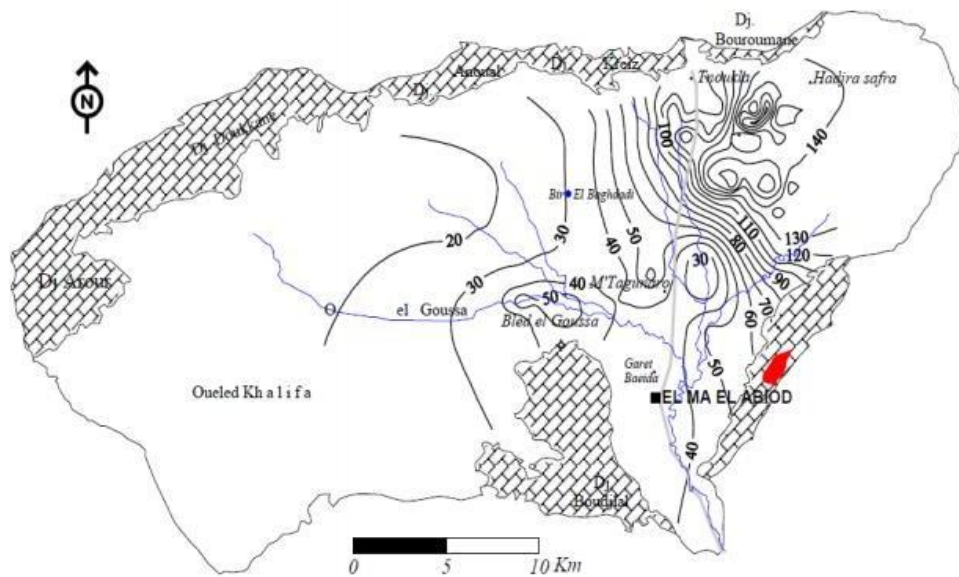


Figure. 11 : Carte d'égal épaisseur des sables [4]

2.5.2. Carte d'égal épaisseur des grès

La même remarque pourra être faite quant à l'extension des grès, lesquels se localisent à l'Est, d'une manière aussi importante qu'à l'Ouest du secteur, mais avec des puissances sensiblement différentes, pouvant atteindre respectivement un maximum de 75m à l'Ouest et les 90m à l'Est.

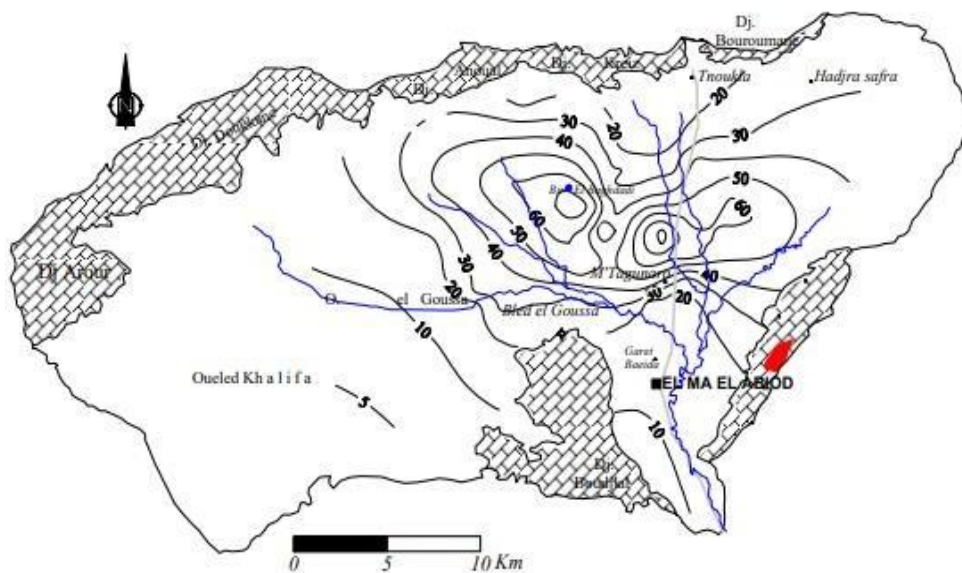


Figure. 12 : Carte d'égal épaisseur des Grès [4]

CHAPITRE II

ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE



1. le phosphate

1.1. Définition

Le Phosphate c'est une roche sédimentaire marine dérivant de l'apatite (Qui vient de mot Grec "apaten"), provenant de la décomposition des os de poisson et d'autres sédiments au fond des mers. [8].

Les phosphates naturels sont des minéraux formés par l'association d'ions métalliques avec l'ion phosphate (PO_4^{3-}). Ils comprennent plus de 200 espèces minéralogiques. Le terme général de phosphate naturel recouvre un ensemble de minéraux complexes, d'origine diverse. Selon la composition brute des minerais et des espèces minérales existantes, on distingue trois familles des roches phosphatées : les phosphates de calcium comme les minéraux apatitiques et les phosphates alumino-calcitiques ou alumineux, bien moins répandus, comme la crandallite ou des phosphates de fer et d'aluminium que l'on regroupe sous le nom de barrendite. D'autres minéraux secondaires de certains gisements de phosphate sont également signalés dans les dépôts sédimentaires tels que les phosphates des terres rares et d'uranium. Toutefois, les minéraux phosphatés les plus abondamment répandus appartiennent à la famille de l'apatite [7].

En chimie minérale, un phosphate est un sel résultant de l'attaque d'une base par de l'acide phosphorique H_3PO_4 [23].

En minéralogie, le phosphate est d'aspect granuleux et forme des concrétions contenant des débris organiques. On trouve des phosphates d'ammoniaque, de magnésie, de chaux, de soude [22].



Figure 01 : une roche du phosphate.

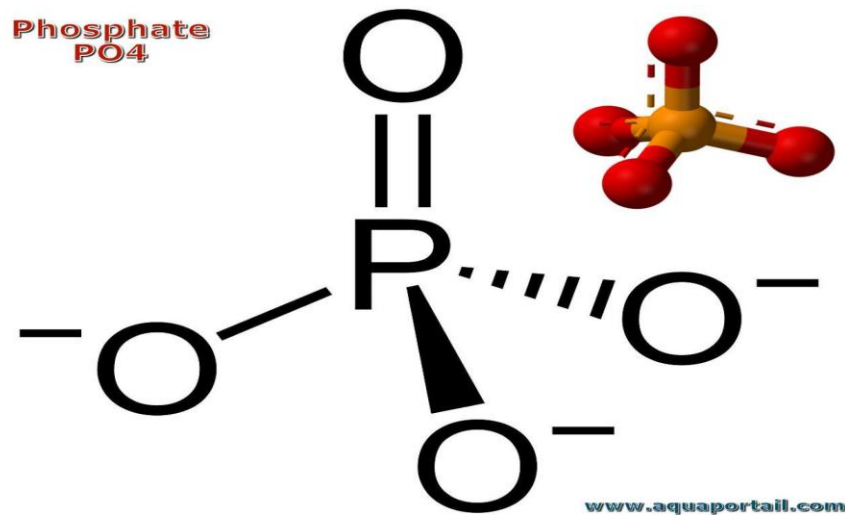


Figure 02 : Structure chimique d'un phosphate PO₄ [22].

1.2. Origine des apports phosphatés

Différentes théories ont tenté d'expliquer l'origine des apports phosphatés, en effet on peut citer ces origines comme suit :

- Apports continentaux : par les sols, les minéraux organiques et ioniques. Les karsts seraient dus à des accumulations osseuses.
- Apports insulaires : en milieu insulaire, la forte activité de guano par les oiseaux et la considérable quantité de poissons seraient à l'origine des gisements concentrés mais étalés. L'altération des gisements aurait lieu lors des transgressions marines et l'apatite pourrait se former.
- Apports marins : les océans sont des réserves très importantes des phosphates.

a. les anciennes théories

Vue de l'abondance des débris des organismes (dents de poissons, des reptiles, fragments d'os...), présents dans les gisements, certains auteurs ont admis l'idée que les phosphates proviennent de l'altération chimique ou biochimique des restes de ces animaux tués en grand nombre à cause d'une catastrophe (augmentation ou diminution brusque de la salinité de l'eau de mer « théorie Biolithique »).

D'autres auteurs pensent que les phosphates proviennent de l'apatite qui se trouve en quantité notable dans les roches ignées (éruptives).

b. théorie moderne de Kazakov (1950)

Il a proposé un schéma de la genèse des phosphates, assez simple pour permettre l'interprétation des divers types de gisements.

- ✓ La source première du phosphore dans la nature est l'apatite, se trouvant en quantité notable dans plusieurs familles des roches éruptives.
- ✓ Le phosphore minéral est mis en solution dans les eaux météoriques et entraînés par les rivières jusqu'à la mer.
- ✓ Il entre dans le cycle biologique des êtres vivants et principalement dans celui du plancton et du necton. Il est restitué au milieu marin après la mort de ces êtres vivants.
- ✓ La destruction de ces organismes.
- ✓ L'intervention des bactéries minéralise les constituants de la matière organique : elles libèrent le phosphore et produit le gaz carbonique (formation d'une réserve en phosphore).
- ✓ Ascension des eaux froides profondes riches en phosphore et en CO₂ (up welling).
- ✓ Précipitation des phosphates qui se fait dans un milieu pauvre en oxygène.

1.3. Les types de phosphate [25]

1.3.1. Phosphates organiques (organophosphates) :

Les phosphates organiques sont des esters de l'acide phosphorique, également connu sous le nom d'acide orthophosphorique (H₃PO₄). Un ester est ce que vous obtenez quand une substance organique (habituellement un hydrocarbure ou un alkyle) remplace un atome d'hydrogène dans un acide. Cet échange (l'hydrogène remplacé par un hydrocarbure organique ou un alkyle) fait passer la substance d'inorganique à organique.

1.3.2. Phosphates inorganiques :

Passons maintenant aux phosphates les plus courants que nous traitons dans le secteur du traitement de l'eau: les phosphates inorganiques. "Dans les systèmes biologiques, le phosphore se trouve sous forme d'ion phosphate libre en solution et est appelé phosphate inorganique, pour le distinguer des phosphates liés à divers esters phosphatés. Le phosphate inorganique est généralement désigné Pi et au pH physiologique (neutre) se compose principalement d'un mélange d'ions HPO_4^{2-} et H_2PO_4^- .

Nous pouvons diviser les phosphates inorganiques en deux catégories: les orthophosphates et les phosphates condensés.

1.3.3. Autres types de phosphates [19] :

Les anions phosphoriques condensés ou non, sont également présents dans denombreux autres composés qui ne peuvent pas trouver leur place dans le classement ci- dessus.Donc ils peuvent être classés en deux catégories, les adduits (aducts) et lesHétéropolyphosphates.

1.4. Les différents minéraux de phosphate [18] :

Tableau 01: Différents minéraux de phosphate

N°	Désignation	Poids Spécifique	Dureté	Couleur	Formule Chimique
1	Xénolite	4,4-5,1	4-5	Brun, jaunâtre	YPO_4
2	Monazite	4,6-5,4	5-5,5	Brun, rouge, vert	$(\text{Ce,La,Th})\text{PO}_4$
3	Ambylgonite	2,9-3,1	5,5-6,5	Blanc à lait	$(\text{Li,Na})\text{Al}(\text{PO}_4)_2(\text{Fe,OH})$
4	Apatite	3-3,2	5	Vert, bleu, transparent	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F, Cl, OH})$
5	Pyromorphite	6,5-7,1	3,5-4	Variable	$\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$
6	Turquoise	2,6-2,8	5-6	Bleu ciel, vert	$\text{Cu, Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OM})_{85}\text{H}_2\text{O}$
7	Chalcosiderite	3,25	4,5	Vert, transparent	$\text{CuFe}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8\text{H}_2\text{O}$
8	Libethentite	3,9	4	Vert olive	PO_4OH
9	Lazulite	3,1	5-6	Bleu azure	$(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_35\text{H}_2\text{O}$
10	Wavelline	2,3	3,5-4	Incolore, blanc	$\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_{35}\text{H}_2\text{O}$
11	Childrenite	3,2	5	Brun, jaune	$(\text{Fe,Mn})\text{Al}(\text{PO}_4)(\text{OH})2\text{H}_2\text{O}$
12	Pseudomalachite	4-4,3	4,5-5	Vert	$\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4\text{H}_2\text{O}$
13	VanisciteStrengite	2,6-2,9	3,5-4,5	Vert pale	$\text{Al}(\text{PO}_4)2\text{H}_2\text{O,Fe}(\text{PO}_4)2\text{H}_2\text{O}$
14	Lithiophilite	3,3-3,5	4-5	Gris, bleuâtre	Li (Fe, Mn) PO_4
15	Ludlomite	3,1-3,2	3,5	Vert	$(\text{Fe,Mg,Mn})_3(\text{PO}_4)_24\text{H}_2\text{O}$
16	Vivanite	2,6-2,7	1,5-2	Transparent	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)8\text{H}_2\text{O}$

1.5. Les gisements du phosphate :

1.5.1. Au monde :

Les pays contenant les gisements de phosphate qui représentent la majeure partie de la production mondiale sont au Maroc et dans d'autres pays africains, aux Etats-Unis, au Proche Orient et en Chine. La plupart des gisements sédimentaires contiennent de la fluoroapatite carbonatée appelée francolite (McConnell, 1938). Les francolites ayant une importante substitution carbonate sur phosphate sont les plus fortement réactives et sont les plus appropriées pour l'application directe comme engrais ou amendement [26].

Les gisements ignés ont fourni environ 10 à 20 pour cent de la production mondiale des dix dernières années. Ils sont exploités dans la Fédération de Russie, au Canada, en Afrique du Sud, au Brésil, en Finlande et au Zimbabwe mais se trouvent également en Ouganda, au Malawi, au Sri Lanka et en plusieurs autres endroits. Ces gisements contiennent généralement des variétés de fluoroapatite qui sont relativement peu réactives et donc moins appropriées pour l'application directe. Les produits de lessivage des apatites ignées et sédimentaires (minerais de phosphate de fer et d'aluminium) ne sont généralement pas utiles pour l'application directe en agriculture dans leur état naturel [25].

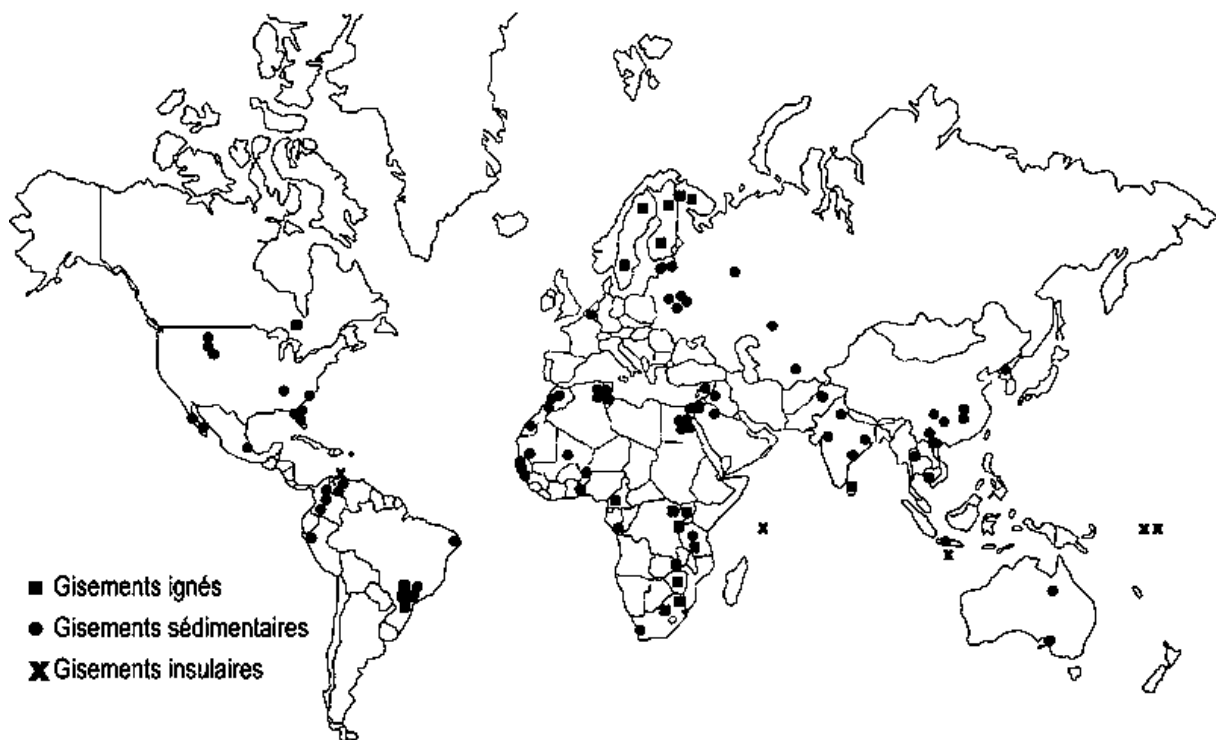


Figure 03: Carte géologique des gisements de phosphate actuellement en exploitation au monde.

1.5.2. En Algérie [27]

Près de deux milliards de tonnes de ressources/réserves les plus importantes richesses naturelles du pays de phosphate principalement localisés dans l'Est du pays. Elle doit être divisées selon la situation géologique à deux grandes familles sont :

- ◆ Un premier groupe est situé au Sud des Hauts-Plateaux, près de la frontière tunisienne, à proximité de Tébessa : ce sont les gisements du Djebel El Kouif, du Djebel Onk et du Djebel Dyr.
- ◆ Un second groupe se trouve au Nord des Hauts-Plateaux, de Bordj-Bou Arreridj à l'Ouest vers Souk-Ahras à l'Est, en passant par Sétif : Tocqueville, Bordj Ghdyr, M'Zaïta, Djebel Dekhna.

On les divise suivant le cas actuel d'exploitation (Exploité, Non Exploité) à deux parties sont :

- Gisements en cas d'exploitation qui sont :
 - Djebel Onk (Nord et Sud).
 - M'Zaïta.
 - Bordj Ghdyr.
 - Tocqueville
- Gisements non exploités qui sont :
 - Djebel Dekhna : qui fut le premier exploité en 1912, fut vite abandonné, car la teneur du phosphate était trop faible.
 - Djebel Dyr : le même cas de Djebel Dekhna.
 - Djebel El Kouif : il est exploité la première fois en 1947, et abandonné à cause des basses teneurs de P_2O_5 .



Figure 04: carte de principaux gisements de phosphate en Algérie [27]

1.6. Les réserves et la production du phosphate : [14]

1.6.1. En Algérie :

a. Les réserves :

C'est l'une des plus importantes richesses naturelles du pays, avec près de deux (2) milliards de tonnes de ressources/réserves principalement localisées dans l'Est du pays. Le grand gisement de Djebel Onk, au Sud de Tébessa, exploité depuis 40 ans, renferme environ la moitié de ces réserves/ressources.

Ces réserves ne constituent qu'une partie de celles que recèlerait le bassin phosphatier. Au rythme actuel de la production, la durée de vie de ces réserves/ressources approcherait deux siècles.

L'importante zone à phosphate de Djebel Onk devra très rapidement constituer un centre de développement économique d'exploitation et de transformation massive de phosphate.

Les principaux gisements de phosphate sont :

- Djebel Onk Sud : 500 Mln tonnes, 24 - 30 % en P₂O₅ et 2-3% en MgO
- Djebel Onk Nord : 100 Mln tonnes, 20-26 % en P₂O₅ et 3.1 % en MgO
- M'Zaita : 29 Mln tonnes, 23 % - 31% en P₂O₅
- Ras El Oued : 0.7 Mln tonnes, 26 % - 27% en P₂O₅
- El Kouif : 27 Mln tonnes, 25 % - 30 % en P₂O₅
- Djebel Dyr : 8 Mln tonnes

b. La production [18]

L'Algérie recèle des ressources phosphatées importantes, ce qui permet de satisfaire les besoins nationales de cette matière et l'exportation d'une quantité appréciable.

La structure d'exploitation minière, l'Entreprise nationale du fer et du phosphate, FERPHOS, est en mesure de fournir à ASMIDAL, l'entreprise de transformation et de production, des quantités de phosphate naturel couvrant ses besoins, avec un surplus pour l'exportation. FERPHOS a lancé un appel à la manifestation d'intérêt pour la réalisation d'un pôle industriel pour la fabrication des productions phosphatés. Le réseau de disponibilité de cette dernière s'articule autour de quatre réseaux, tous liés à ASMIDAL :

- ASMIDAL (réseau1) : Fabrication; importation/exportation; stockage ; distribution.
- CASSAP (réseau 2) : Importation ; stockage ; distribution.
- CCLS (réseau 3) : Stockage ; distribution.
- Revendeurs (réseau 4) : (privés, représentants de firmes étrangères ...etc.)

FERPHOS s'articule dans leur exploitation à quatre gisements principaux qui produisent le phosphate par des quantités différent de l'une à l'autre ; la production se divise comme suite :

- Djebel Onk : environ de 1.500.000 t/an.
- M'Zaïta : 100.000 t/an.
- Bordj Ghdyr : 20.000 t/an.
- Tocqueville : 5.000 à 10.000 t/an

1.6.2. Au monde

Tableau 02: Production et réserves mondiales par pays de phosphate naturel en 2020/21 [21]

Pays	Production (10 ⁶ Kg), 2020	Production (10 ⁶ Kg), 2021	Réserves(10 ⁶ Kg)
United States	23,500	22,000	1, 000,000
Algérie	1,200	1,200	2, 200,000
Australie	2,000	2,200	1, 100,000
Brésil	6,000	5,500	1, 600,000
Chine	88,000	85,000	3, 200,000
Egypte	4,800	5,000	2, 800,000
Finlande	995	1,000	1, 000,000
Inde	1,400	1,400	46,000
Palestine	3,090	3,000	53,000
Jordanie	8,940	9,200	1, 000,000
Kazakhstan	1,300	1,500	260,000
Mexique	577	530	30,000
Maroc	37,400	38,000	50,000,000
Pérou	3,300	3,800	210,000
Russie	14,000	14,000	600,000
Arabie Saoudite	8,000	8,500	1, 400,000
Sénégal	1,600	2,200	50,000
Afrique du Sud	1,800	2,000	1, 600,000
Togo	942	1,200	30,000
Tunisie	3,190	3,200	100,000
Türkiye	600	600	50,000
Ouzbékistan	900	900	100,000
Vietnam	4,500	4,700	30,000
Autres pays	870	1,000	2, 600,000
Total	219,000	220,000	71, 000,000

1.7. La consommation du phosphate au monde

Tableau 03 : La consommation mondiale de phosphate en agriculture 2019/20 [20]

Pays	Valeur de consommation (10 ⁶ kg)
Chine	9 977
Inde	7 470
États-Unis	4 420
Brésil	6 046
Indonésie	1 358
Pakistan	1 173
Canada	1 137
Australie	898
Russie	870
Argentine	846
Reste du monde	44355

1.8. Domaine d'utilisation des Phosphates [7]

Les applications actuelles du phosphore et ses dérivés se sont multipliées dans de nombreux secteurs industriels. Parmi les nombreuses applications des phosphates dans l'industrie, les engrais et la fabrication de l'acide phosphorique prédominent. Ils représentent environ 80 % de la consommation mondiale des phosphates.

L'apport des phosphates dans les divers domaines d'utilisation est représenté comme suit

:

- dans les engrais, il apporte ses qualités fertilisantes particulières.
- dans l'alimentation, il est employé pour les propriétés spécifiques du P_2O_5 dans le métabolisme.
- dans les détergents, on l'utilise pour les propriétés séquestrantes, chélatantes de P_2O_5 .
- dans les textiles, les plastiques et le traitement du bois le P_2O_5 apporte des qualités de résistance à l'inflammation.
- en métallurgie, les dérivés du phosphore sont utilisés pour le nettoyage et protection ou revêtement anticorrosion.
- en chimie et dans le pétrole, le phosphore permet la fabrication de dérivés intermédiaires particulièrement actifs (sulfures, chlorures, oxydes, etc...).
- Les nouveaux développements de l'industrie des phosphates se situent dans un domaine médical de pointe, celui des biomatériaux. Le développement de biocéramiques apatitiques ou de polymères chargés en apatites comme matériau pour des os de remplacement ou des implants dentaires est à l'étude. L'hydroxyapatite, quant à elle, sert à recouvrir les parties métalliques des prothèses osseuses.
- le pouvoir de dispersion des phosphates a conduit à leur utilisation dans de multiples industries pour séparer ou combiner des liquides et des solides finement dispersés. Enfin, il y a des applications secondaires dans de très nombreux secteurs industriels : cimenterie, pigments, allumettes, etc.

2. Les argiles

2.1. Définition [9]

Le mot argile provient du grec "argilos" qui veut dire blanc, ou du latin "argilla", il semble que ce soit la couleur du matériau utilisé en céramique qui ait conduit les anciens à lui donner ce nom.

Les argiles sont des matériaux de décomposition des roches sédimentaires, par une dégradation mécanique et physique puis altération chimique. Ces altérations physico-chimiques des roches proviennent sous l'effet de la variation de la température, et surtout au contact avec l'eau qui permet la dégradation en particules très fines. Ces conditions dans lesquelles cette dégradation a lieu, explique la grande diversité des argiles.

En tant que matière première brute, l'argile est donc un mélange de minéraux argileux et d'impuretés cristallines sous forme de débris rocheux de composition infiniment diverse.

Du point de vue chimique, ces minéraux sont des silicates l'alumine principalement qui se présentent sous forme des feuillets, l'empilement de ces feuillets constitue les grains dont la dimension est généralement inférieure à 2 μm .

2.2. Origines géologiques : [15].

La genèse des argiles passe par les processus suivants :

2.2.1. L'héritage :

Le minéral argileux est directement issu de la roche mère sans modification de ses caractéristiques cristallographiques. C'est un minéral argileux primaire (micas et illite de plusieurs dizaines de microns ; chlorite trioctaédrique...).

2.2.2. La transformation :

Les conditions de surface entraînent une modification des caractéristiques cristallographiques du minéral argileux, néanmoins sa structure de base originelle reste conservée.

2.2.3. La néoformation :

Les conditions de surface entraînent la dissolution des minéraux primaires contenus dans la roche mère (argileux et/ou non argileux). Les cations et anions issus de cette dissolution passent dans la solution du sol. Si les conditions de nucléation et de croissance d'un minéral argileux sont réunies, un nouveau minéral argileux est formé dans le sol. Le minéral argileux est dans ce cas un minéral argileux secondaire néoformé (kaolinite des sols latéritiques, smectite des vertisols en bas de toposequence).

2.3. Formation de l'argile : [17].

Les argiles sont des matériaux détritiques issus de la réaction : silicates parentaux primaires (quartz, feldspaths, pyroxène, amphibole...) + eau de percolation => silicates stables (quartz)

ou incomplètement altérés (feldspaths) + minéraux secondaires (minéraux argileux et hydroxydes de Fe et Al) + solutions enrichies en ions.

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

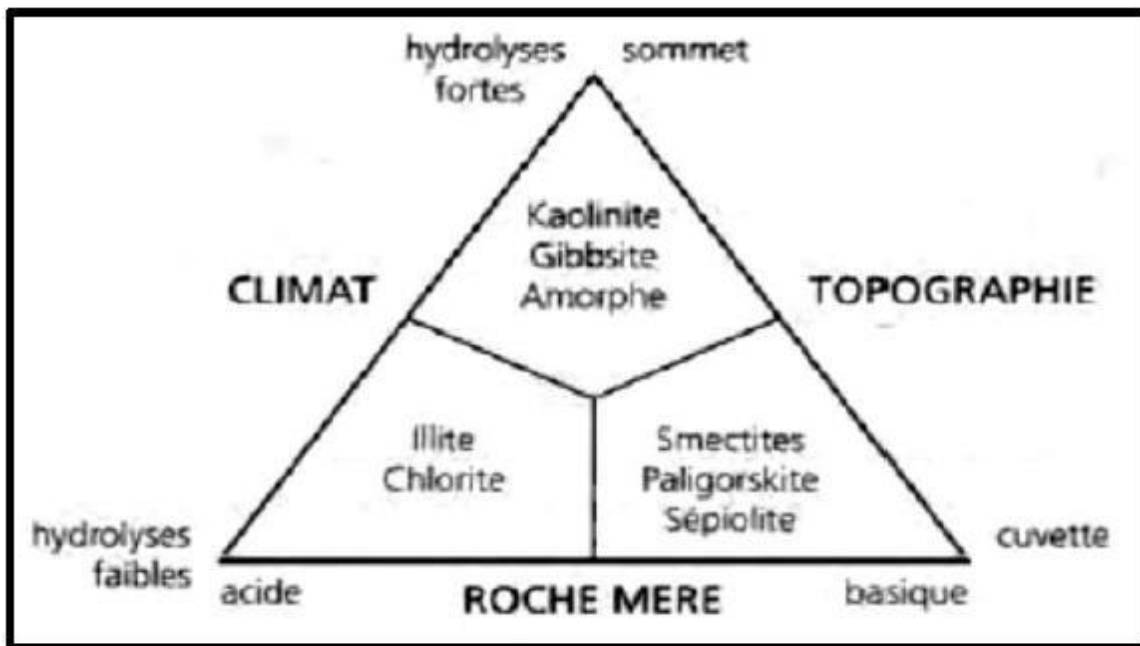


Figure.05 : Formation des argiles sous les conditions environnementales [17].

2.4. Structure des argiles [9]

Généralement Les argiles brutes sont constituées d'un composant minéral de base (kaolinite, montmorillonite, etc...) appartiennent à la famille des phyllosilicates à structure en feuillets très étendus, ces feuillets sont formés des couches structurales, tétraédriques et octaédriques (figure 06). Les couches structurales sont à leurs tours formées d'unités structurales de base, par empilement d'ions d'oxygènes et/ou d'hydroxyles en disposition hexagonales ou compactes et de certaines impuretés.

Les impuretés sont constituées des :

- Oxydes et hydroxydes de silicium : (le quartz et la cristobalite).
- Minéraux ferrifères : l'hématite Fe_2O_3 , la magnétite Fe_3O_4 .
- Carbonates : la calcite $CaCO_3$, la dolomite $CaMg (CO_3)_2$.

- Oxydes et hydroxydes d'aluminium : La gibbsite $Al(OH)_3$.
- Matières organiques.

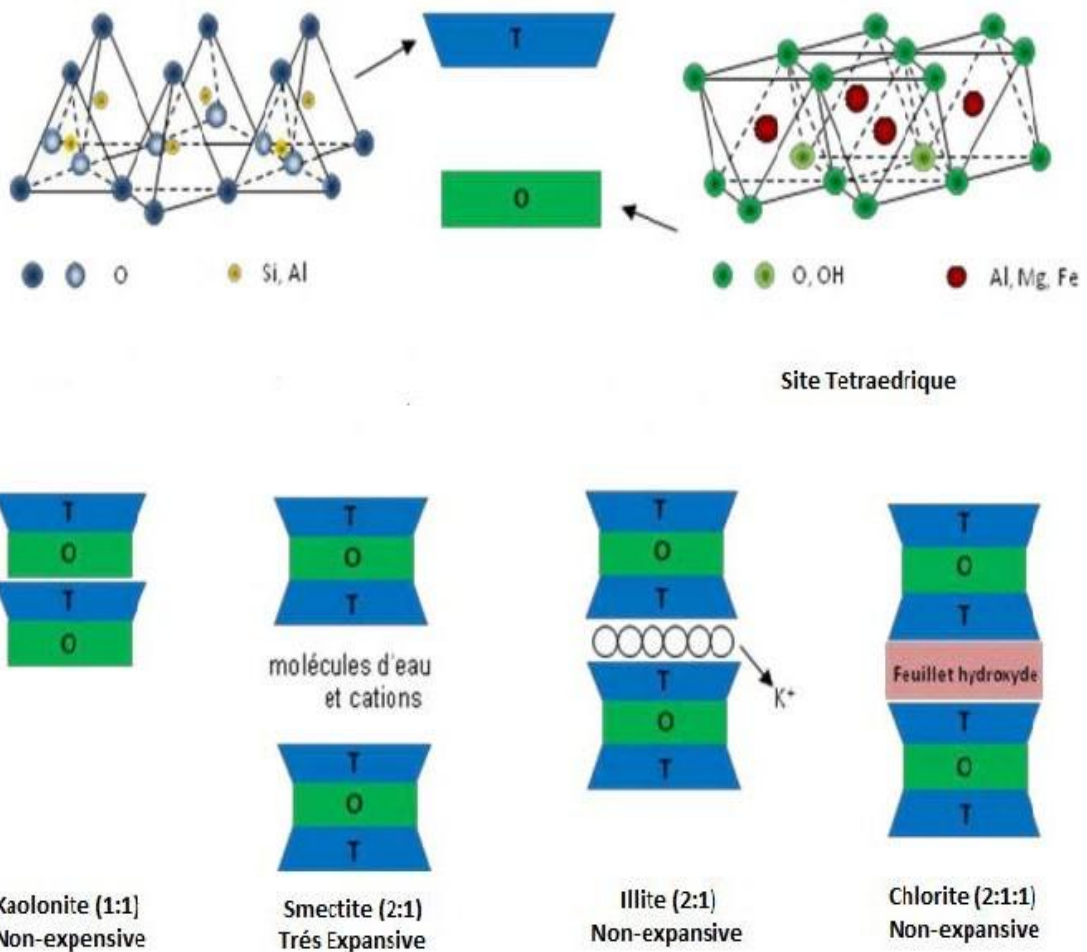


Figure 06 : la structure des principaux minéraux argileux.

La structure des feuillets sont séparés par des espaces interfoliaires qui peuvent être vide ou occupé par divers cations, l'ensemble feuillet-espace interfoliaire est appelé "unité structurale".

2.5. Les familles des argiles [17]:

- **Kaolinite :**

Il s'agit d'un composé simple à deux couches O-T. Pour associer les couches, un atome oxygène de la couche T est remplacé par un ion hydroxyle de la couche O. La composition chimique est $2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$. Le feuillet est neutre, il n'y a pas d'absorption de cation. L'espace inter couche est vide. Il n'y a pas d'échange cationique. L'épaisseur du feuillet est constante à $7,2 \text{ \AA}$.

➤ **Smectite :**

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

Par exemple, dans une de ces variétés, la montmorillonite, $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2, n\text{H}_2\text{O}$, un Al^{3+} de la couche octaédrique sur 8 est remplacé par Mg^{2++} (figure 3b). Le feuillet devient partiellement négatif et pour compenser, des cations (Ca^{2+} ou Na^+) viennent s'absorber de façon peu énergétique.

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

➤ **Illite :**

Il s'agit encore d'un composé à trois couches TOT. Ici, ce sont les ions K^+ qui assurent l'équilibre électrique. Il y a une charge négative importante dans les couches, les ions sont liés de façon forte, et il y a une très faible capacité d'échange cationique.

L'épaisseur de la structure est constante : 10 Å°.

➤ **Chlorite :**

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

La structure est proche de TOT-O. La capacité d'échange est limitée et la structure demeure stable à 14,1 Å°.

2.6. Utilisation des argiles

Grâce à leurs propriétés, les argiles sont utilisables pour différentes applications. Outre la fabrication de matériaux de construction. Elles sont utilisées, à titre d'exemple, pour l'élaboration de matériaux polymères ou encore le raffinage d'huile alimentaire, le domaine cosmétique ou la médecine. Grâce à leurs propriétés micro et macroscopiques, les argiles, jouent aussi un rôle important dans le stockage des déchets. A cet égard, les argiles ont des propriétés intéressantes pour constituer une barrière imperméable autour des déchets. Au contact des eaux souterraines, la barrière argileuse va se saturer progressivement. Ses

propriétés, tant mécaniques qu'hydrauliques et physico-chimiques vont évoluer au cours de cette phase de saturation. En particulier, le spectre de porosité de l'argile va être profondément modifié. Donc, par leur faible perméabilité, leur capacité d'échange de cations permettant le rôle de "piège" face aux pollutions métalliques, les argiles soient sous forme modifiées soient à l'état brut, sont d'excellents matériaux pour les centres de stockage de déchets.

2.7. Production des argiles en Algérie [26]:

La production des argiles pour l'année 2011, a atteint 10 972 798 T, soit une hausse de + 15.2% par rapport à l'année 2010. Elle est assurée par 116 d'exploitations minières (elles étaient au nombre de 104 en 2010) implantées dans 35 wilayas, parmi lesquelles 92 appartiennent au secteur privé et 24 au secteur public.

Le secteur privé a enregistré une production de 7 185 712 tonnes représentant 65.5% de la production nationale. Le secteur public a produit 3 787 086 tonnes correspondant à un taux de 34.5%.

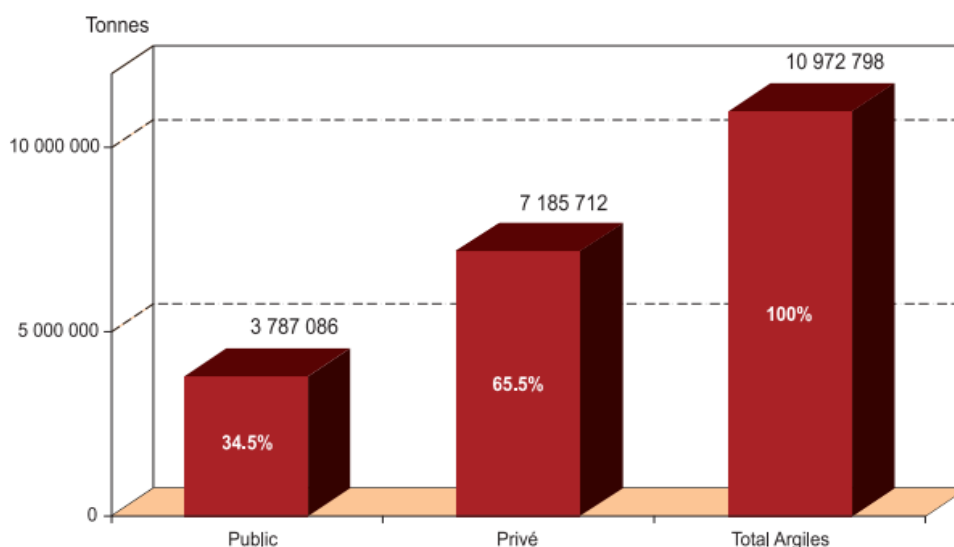


Figure 07 : production des argiles par statut juridique : année 2011

Au cours de l'année 2008, 5 wilayas Oran, Oum El Bouaghi, Chlef, Ghardaïa et Biskra ont produit 48.9% de la production nationale correspondant à 5 367 399 tonnes, La wilaya d'Oran a réalisé en 2011 une production des argiles de 1 438 266 tonnes, correspondant à 13.1% de la production nationale totale.

La wilaya de Mostaganem quant à elle, n’a produit que 8 000 tonnes.

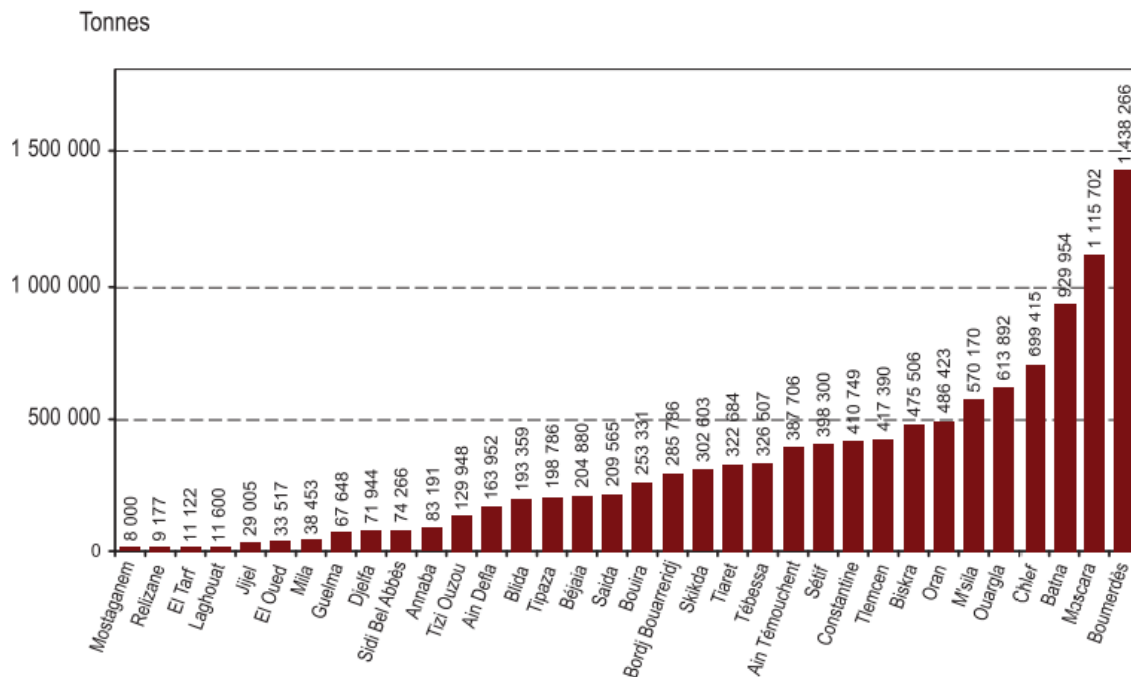


Figure 08 : Production des argiles par wilaya : année 2011

Pour l'année 2011, 10 wilayas Boumerdès, Mascara, Batna, Chlef, Ouargla, M'sila, Oran, Biskra, Tlemcen et Constantine, ont produit près des deux tiers de la production nationale des argiles avec 7 157 468 tonnes, correspondant à un taux de 65.2%.

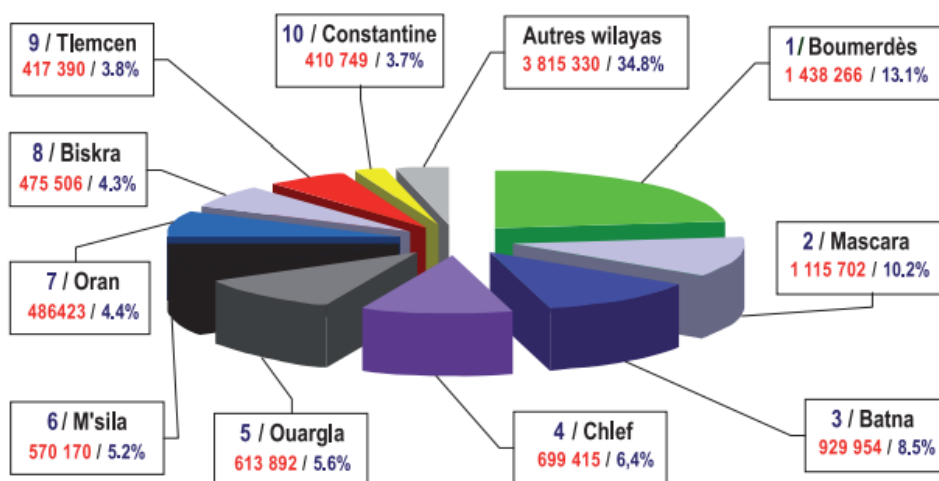


Figure 09 : Production des argiles (Tonnes) : année 2011, Top dix wilayas

CHAPITRE III
CARACTERISATION DES
REJETS PHOSPHATES ET
DE L'ARGILE D'EL
MALABIOD



Introduction

A partir des exigences industrielles de fabrication de l'argile et de la composition des déchets phosphatés, nous avons observé le potentiel d'utilisation des déchets phosphatés comme dégraissant, pour lequel nous avons réalisé des analyses granulométriques et chimiques dans notre laboratoire de l'usine de Djebel et les essais physiques, chimique et granulométrique d'argile dans notre laboratoire d'université.

Notre complément est constitué par les déchets miniers issus du traitement du minerai de phosphate à l'usine de Djebel Onk et l'argile du gisement de bassin d'El ma mabiod.

1. Caractérisation des rejets phosphatés

A. Objectif d'échantillonnage [20]

L'objectif de l'échantillonnage est de prélever une partie représentative d'un ensemble ou d'un lot de minerai pour déterminer avec la plus grande précision possible la teneur moyenne en divers éléments de cet ensemble.

Tout échantillonnage, même le plus simple est sujet à plusieurs causes d'erreur reliées à la structure, la texture, la distribution du minerai; à la technique d'échantillonnage, à la façon d'appliquer cette technique particulière, ou à l'instrument d'échantillonnage utilisé.

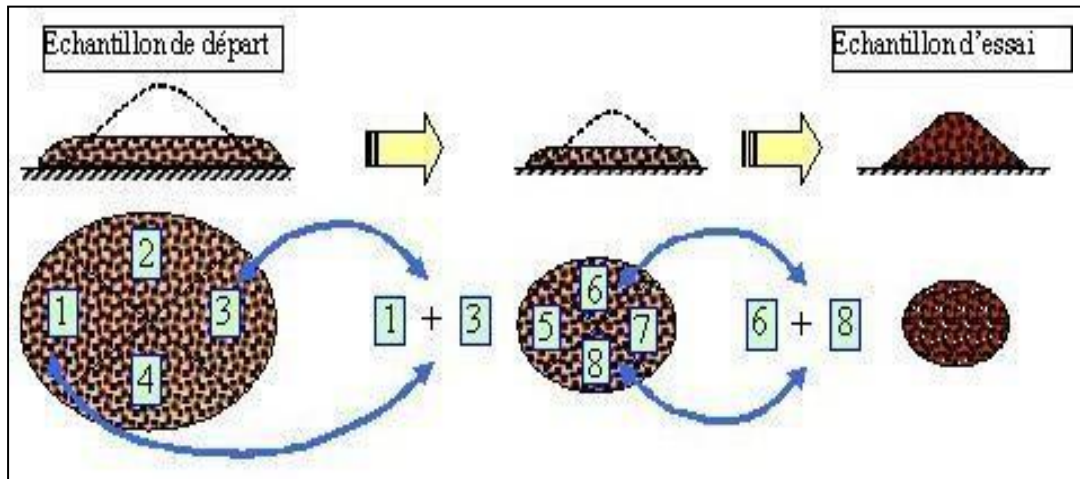
B. Méthode d'échantillonnage

◆ Le séchage

A une température compatible avec les caractéristiques des composants recherchés. Pour les métaux, le séchage des échantillons de sol est le plus souvent réalisé à l'air libre, puis à l'étuve à une température inférieure à 40°C.

◆ Le quartage

L'échantillon est divisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposée. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial. [14]



◆ **Figure 01:**Opération de quartage

◆ **Préparation de l'échantillon**

Avant la préparation de l'échantillon le prélèvement est effectué sur la boue de débouage et les fines des dépoussiérages

La quantité de l'échantillon prélevée est de 2 Kg (1kg depuis les fines de dépoussiérages et 1kg depuis les boues de débouage). La quantité prélevée est acheminée au laboratoire de préparation des échantillons (labo carreaux).

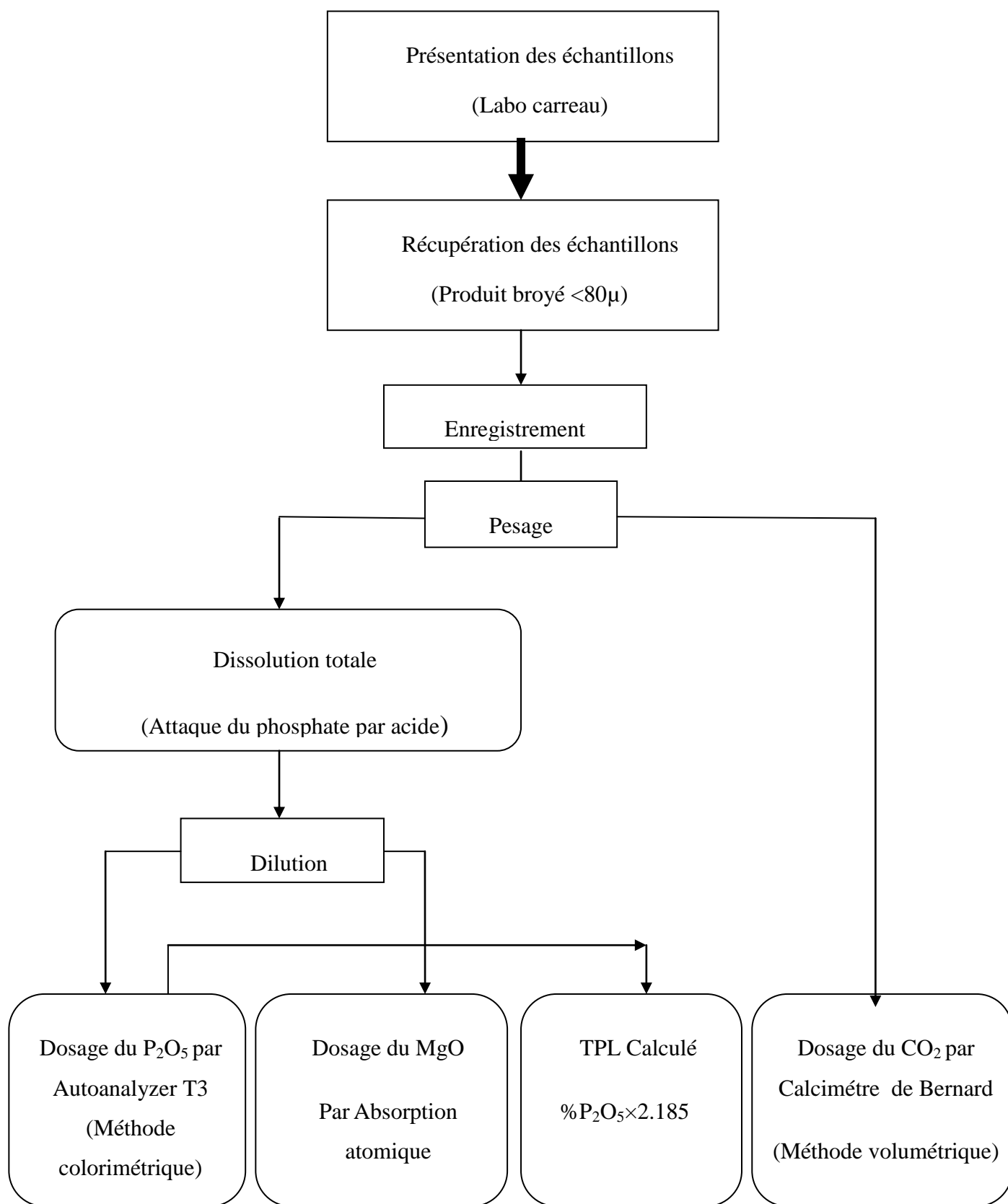


Figure.2. Plan d'analyse des échantillons quotidiens [13]

1.1. Analyse granulométrique

La grosseur du mélange des particules de n'importe quel matériau est caractérisée par la composition granulométrique, montrant la distribution des teneurs en produits fin.

1.1.1. Analyse granulométrique des boues de débouage

L'analyse granulométrique est effectuée sur les tamis suivants :

+0.100mm, +0.080mm, < à 0.080mm

Tableau 1: L'analyse granulométrique des boues de débouage

Les mailles	Les fines globales			
	Les poids	partiel%	Cumulé Passé $\sum y^{\nearrow}$	Cumulé Refusé $\sum y^{\nwarrow}$
+0.100mm	201.86	52.17	100	52.17
+0.080mm	53.37	13.79	47.83	65.95
-0.080	131.73	34.04	34.04	100
total	386.96	100		

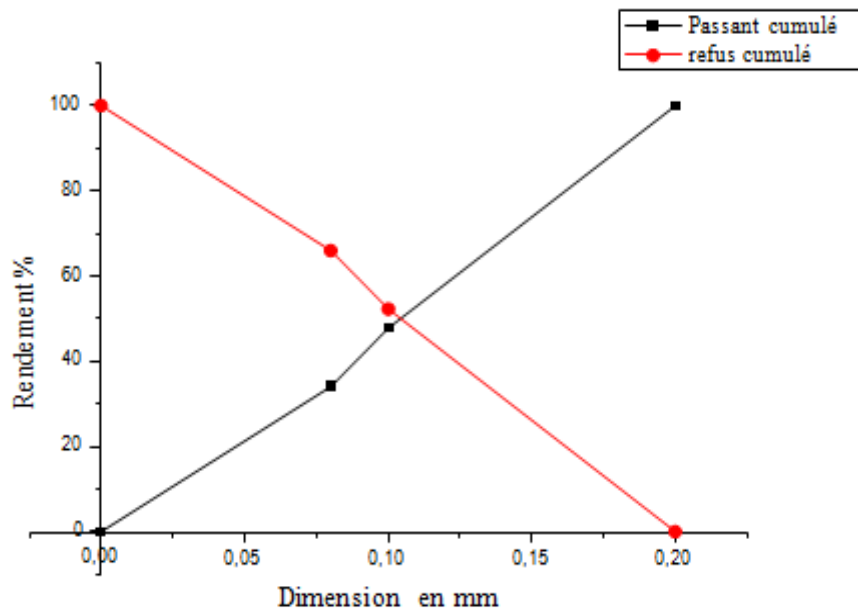


Figure 03: Courbe d'analyse granulométrique des boues de débouage

1.1.2. Analyse granulométrique des fines de dépoussiérage

L'analyse granulométrique est effectuée sur les tamis suivants :

+0.100mm, +0.080mm, < à 0.080mm

Tableau 2: L'analyse granulométrique des fines de dépoussiérage

Les mailles	Les fines globales			
	Les poids	partiel%	Cumulé Passé $\sum \gamma^{\nearrow}$	Cumulé Refusé $\sum \gamma^{\nwarrow}$
+0.100mm	228.08	55.37	55.37	100
+0.080mm	48.82	11.85	67.21	44.63
-0.080	135.05	32.78	100	32.78
Total	411.96	99.99		

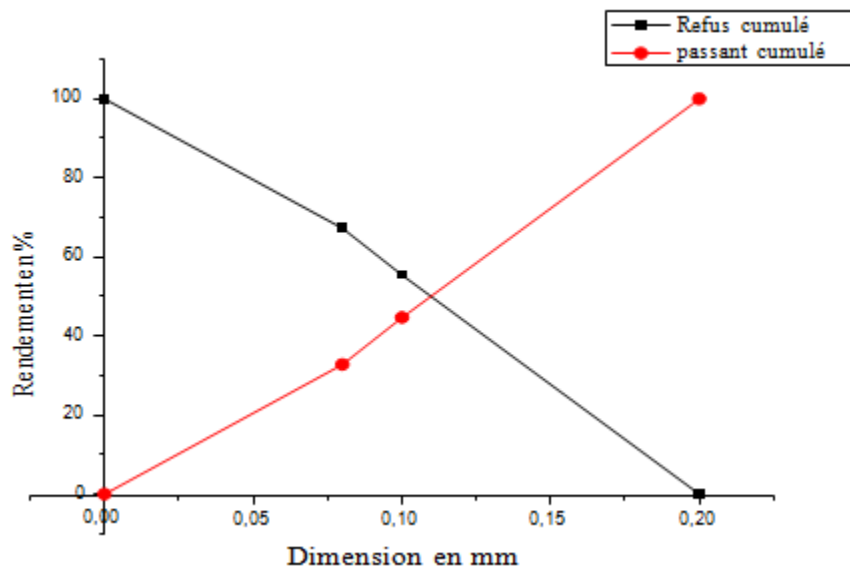


Figure 04 : Courbe d'analyse granulométrique des fines de dépoussiérage

1.2. Analyses chimiques

Les échantillons préparés au labo carreaux acheminé vers laboratoire chimique pour les analyses chimique suivantes :

1.2.1. Dosage du P₂O₅ par la méthode spectrophotométrie automatique (Auto analyseur)

Le système Technico Auto analyseur est le dernier né d'une gamme complète d'instruments pour l'analyse chimique automatique en phase liquide. L'Auto analyseur met en œuvre les techniques les plus évoluées de la mécanique de fluide pour réaliser la mesure rapide et fiable des paramètres industriels les plus critiques, à des cadences de dosages pouvant atteindre 120 échantillons par heure. Les systèmes l'Auto analyseur ont une caractéristique commune, leur conception modulaire. Cette particularité permet de les adapter à tous les besoins analytiques spécifiques et en fait un remarquable outil de recherche doté d'une souplesse extraordinaire.

Dans l'Auto analyseur, les réactions prennent place au sein de veines liquides à écoulement continu, segmentées par des bulles d'air. Toutes les étapes de l'analyse sont automatiques, depuis l'aspiration de l'échantillon jusqu'à la mesure de la concentration de la substance dosée. L'enregistrement graphique des résultats et éventuellement leur présentation par une imprimante digitale.

Dans le système l'Auto analyseur, on dépose les échantillons dans godets du distributeur. Une pompe proportionnant péristaltique fonctionne en continu assure leur prélèvement et les fait avancer ainsi que les étalons et les réactifs dans le circuit analytique. La réaction de coloration prend place dans une bobine de délai ou celle d'un bain-marie. Le colorimètre mesure la densité optique de la solution tandis que les résultats s'inscrivent en une série de pics sur la feuille d'enregistrement. La réponse de l'enregistrement est directement proportionnelle à la concentration de la substance dosée.

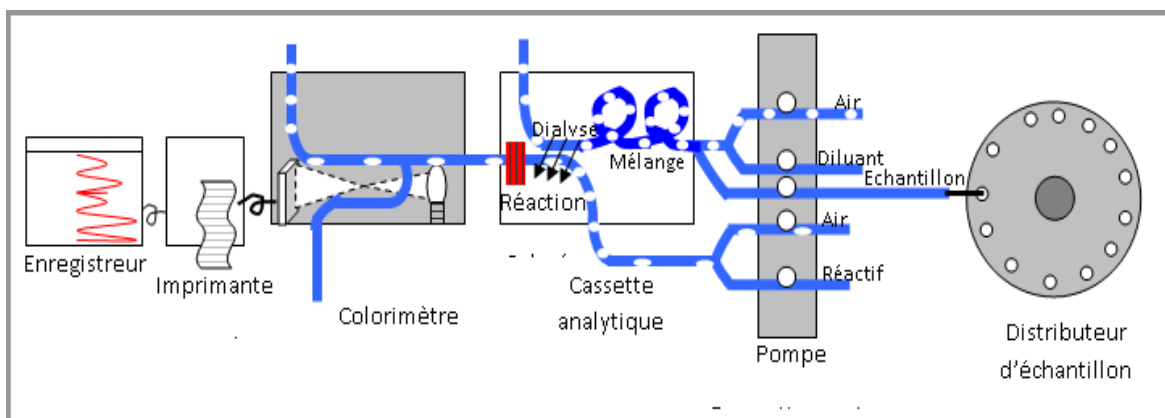


Figure 05: Schéma d'auto analyseur

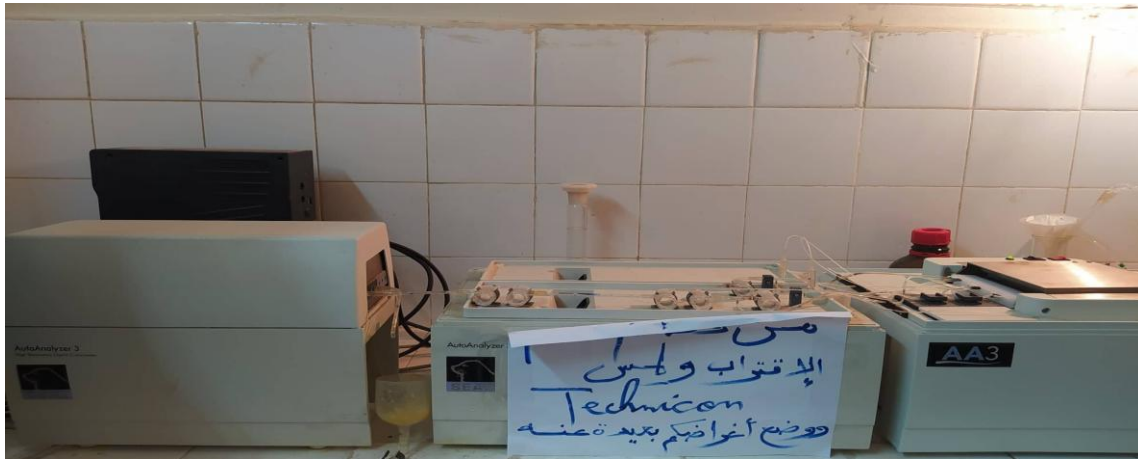


Figure 06 : auto-analyseur

A. Principe

- Formation d'un complexe jaune entre les ions phosphoriques vanadiques molybdiques ;
- Détermination spectrophotométrie automatique à l'aide de l'auto analyseur Technico.

B. Attaque

Attaque perchlorique.

C. Réactifs

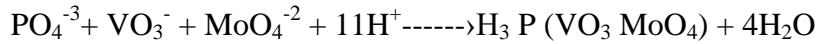
- Acide perchlorique $\text{HClO}_4 = 1.61 \text{ mg/ml}$ ($d = 1.61$, 70% en poids) ;

D. Appareillage

- Matériel courant de laboratoire ;
- Auto Analyseur Technico, équipé d'un manifold pour le dosage de l'anhydride phosphorique et muni d'un filtre à de 430 nm.

Faire passer les solutions étalons et les solutions analysées dans l'appareil et déterminer les concentrations en % P₂O₅ en fonction des densités optiques pour une longueur d'onde à 430 nm.

Réaction de la formation du complexe phosphovanado-molybdique est :



Le dosage du P₂O₅ nous permet de savoir la teneur du phosphate Tricalcique qui est le TPL (triple phosphate of lime) soit :

$$\%P_2O_5 \cdot 2.185 = \%TPL$$

$$\text{Tel que : } 2.185 = \frac{Mm [Ca_3(PO_4)_2]}{Mm [P_2O_5]} \text{ Et } Ca_3(PO_4)_2 \rightarrow P_2O_5 + 3CaO$$

- **Analyse chimique de teneur en P₂O₅ des rejets phosphatés de boue de débouillage et de fine dépoussiérage**

Tableau 3 : Analyse chimique de teneur en P₂O₅ des rejets phosphatés

Rejet	P ₂ O ₅ (%)
Les boues de débouillages	22.55
Les fines de dépoussiérages	23.46

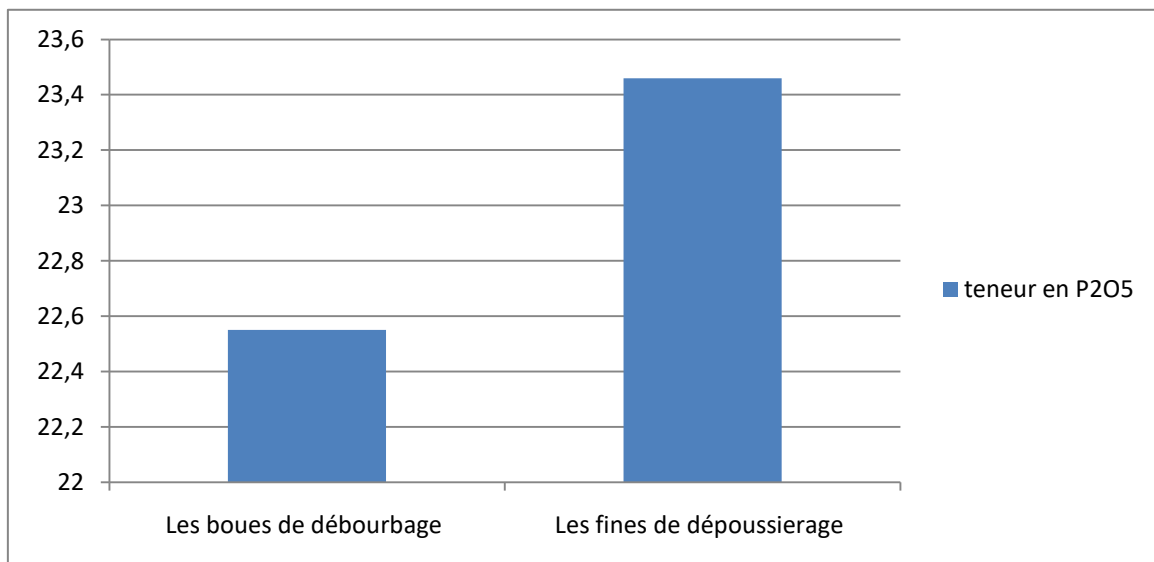


Figure 07: Histogramme des teneurs en P₂O₅ des rejets phosphatés

1.2.2. Dosage du Magnésium MgO par absorption atomique

A. Spectrométrie d'absorption atomique

Dans le cas particulier de l'absorption atomique, on travaille sur des atomes libres à l'état fondamental ($W_i = 0$): ces atomes peuvent absorber des photons et passer ainsi à leurs différents états excités peu nombreux à cause des règles de sélection qui interdisent le nombre total de combinaisons que l'on pourrait réaliser entre les états excités et l'état fondamental. Pour un atome, on peut donc faire de l'absorption sur les raies qui correspondent au passage état fondamental - états excités, mais avec une sensibilité différente liée aux coefficients d'Einstein différents pour chaque niveau excité. Ces raies sont appelées raies de résonance bien que l'on réserve quelquefois cette appellation à la plus sensible d'entre elles. Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments que l'on a décidé de doser. L'appareil est schématisé ci-dessous.

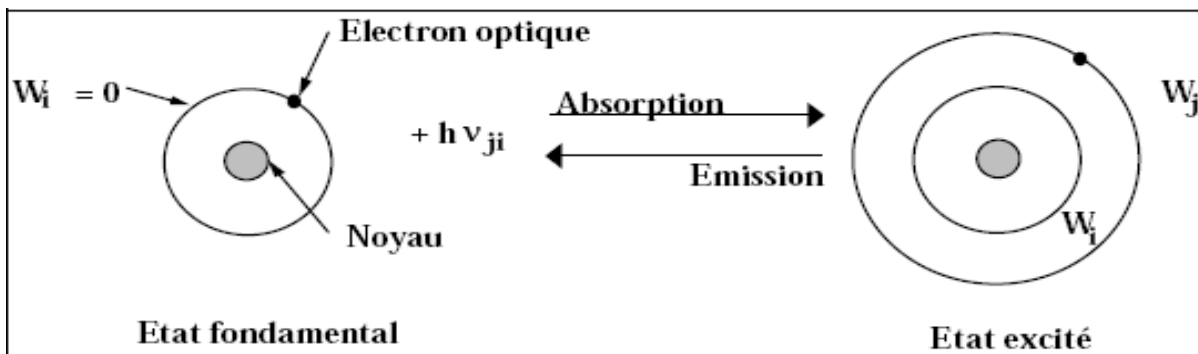


Figure 08: Interaction rayonnement matière

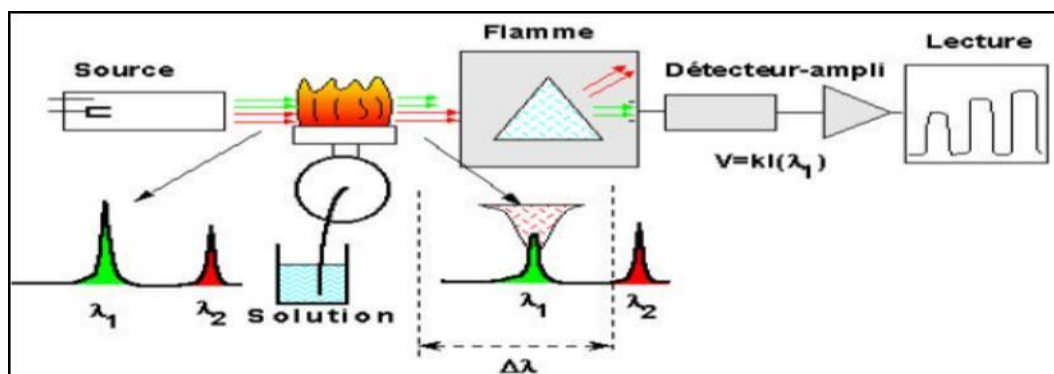


Figure 09: Schéma de principe du spectrophotomètre d'absorption atomique



Figure 10: Spectrophotomètre d'absorption atomique

B. Principe

Détermination de la teneur en magnésium dans une solution d'essai par spectrométrie d'adsorption atomique en présence de l'oxyde de lanthane ou chlorure de lanthane.

C. Réactifs

- Acide chlorhydrique concentré $d = 1,19$: 37% en poids ;
- Solution étalon mère de : 1g/litre de magnésium ;
- Solution fille de : 100 mg/litre en magnésium (50ml dans 500ml de solution) ;
- Tampon spectrochimique au lanthane : Peser 58,64 g de (La_2O_3) et le dissoudre.

Dans une fiole jaugée de un litre puis lentement et avec précaution, ajouter 250ml d'acide chlorhydrique concentré après dissolution ajuster et jauger avec de l'eau distillée.

D. Appareillage

- Matériel courant de laboratoire ;
- Spectrophotomètre d'absorption atomique, muni d'une lampe à cathode creuse, pour le dosage du magnésium et d'un brûleur air-acétylène. AAS3300 ;
- Installation d'air comprimé ;
- Acétylène.

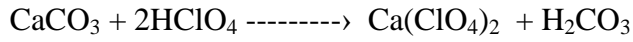
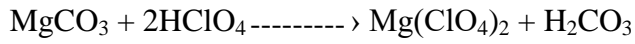
E. Mode Opératoire

Prélever 5ml de la solution d'attaque perchlorique dans une fiole jaugée de 100ml ajouter 2ml de lanthane et 2ml d'acide chlorhydrique concentré ajuster la fiole à 100ml et passer au spectrophotomètre d'absorption atomique.

A partir de la gamme d'étalonnage et le blanc des réactifs tracer la courbe d'étalonnage

en ordonné les absorbances et en abaisse les concentrations en mg/l de magnésium.

Réaction de l'attaque :



F. Calcul

$$\% \text{ MgO} = C \times V_t \times 200 \times 100 / V_p \times E = C \times 3,316$$

C = Concentration en mg/l, d'après la courbe d'étalonnage.

V_t = Volume de la solution d'attaque (500ml).

E = Prise d'essai en gramme (1g).

V_p = Volume prélever pour l'essai (5ml).

➤ **Analyse chimique de teneur en MgO des rejets phosphaté de débouage et de dépeussierage**

Tableau 04: Analyse chimique de teneur en MgO des rejets phosphatés

Rejet	MgO (%)
Les boues de débouage	3.41
Les fines de dépeussierage	3.45

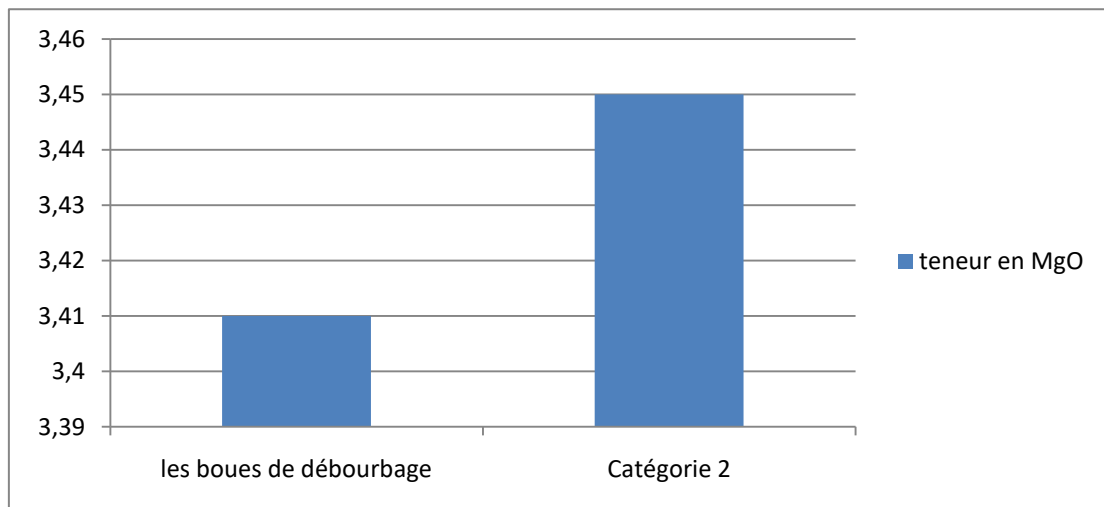


Figure 11: Histogramme des teneurs en MgO des rejets phosphatés

1.2.3. Dosage de l'anhydride carbonique (Par Calcimètre de BERNARD)

Un Calcimètre permet de mesurer le volume de CO_2 dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO_3) d'un échantillon de sol ou de roche.

A. Principe

Attaque du phosphate par l'acide chlorhydrique, en récipient fermé, mesure du volume gazeux dégagé.

Le dégagement éventuel d'hydrogène sulfuré est empêché par addition de sulfate de cuivre.

B. Réactifs

- Acide chlorhydrique solution à 50% en volume ;
- Sulfate de cuivre anhydre ;

C. Appareillage

Appareil de mesure du dégagement gazeux (Calcimètre de BERNARD)



Figure.12:Appareil de Calcimètre de BERNARD

D- Mode opératoire

- Peser un 1g d'échantillon broyé ;
- Introduire dans la fiole poire sèche ;
- Placer dans la fiole 10 à 12 billes de verre ;
- D'autre part, dans des tubes hémolyse introduire 5ml de sulfate de cuivre, l'introduire le tube à hémolyse dans la fiole contenant l'échantillon, sans renverser

le liquide ;

- Incliner la fiole pour verser le contenu des tubes à hémolyse sur l'échantillon ;
- Abaisser le réservoir pour maintenir le liquide à peu près au même niveau dans le tube mesureur et dans le réservoir ;
- Agiter la fiole, sans interruption, jusqu'au moment où le niveau du liquide dans le tube mesureur ne varie plus ;
- Laisser refroidir sans agiter ;
- Noter de 5 en 5 mn la température et le volume dégagé, lorsque la température est égale à la température initiale, noter le volume, en prenant soin d'amener le liquide au même niveau dans le réservoir et dans le tube mesureur.

D. Calcul

Après avoir mesuré le volume dégager on prend la température et la pression dans lesquelles l'opération c'est déroulée puis on calcule le pourcentage de CO₂ par la relation suivante :

$$\% \text{ CO}_2 = V \text{ CO}_2 \times K$$

Sachant que :

V= volume

K = Coefficient de proportionnalité, calculé à partir de la température T°C et de la pression P mmHg à l'équilibre (dans notre analyse est égale à 0,165).

➤ **Analyse chimique de teneur en CO₂ des rejets phosphatés de débouillage et de dépoussiérage**

Tableau 05: Analyse chimique de teneur en CO₂ des rejets phosphatés

Rejet	CO ₂ (%)
Les boues de débouillage	11.22
Les fines de dépoussiérage	11.60

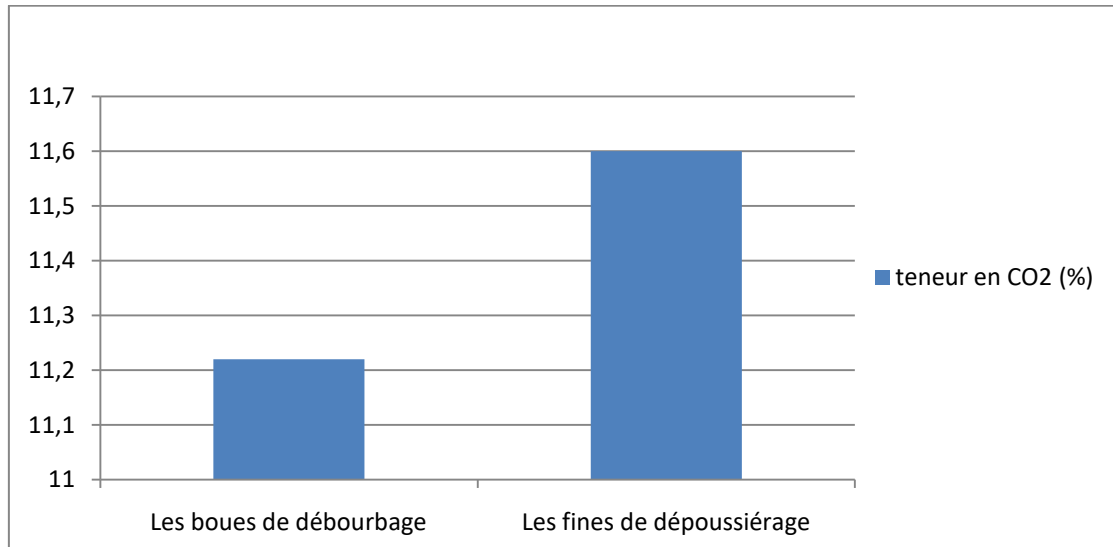


Figure 13: Histogramme des teneurs en CO₂ des rejets phosphatés

1.2.4. Dosage du calcaire :

A. Principe :

On attaque un poids connu de terre par l'acide chlorhydrique :



Cette réaction permet d'utiliser une méthode gazométrique puisque l'on distingue qu'une mole de CaCO₃ permet le dégagement d'une mole de gaz carbonique.

B. Calculs et expression des résultats :

$$\text{CaCO}_3 = \left[\frac{V'}{V} \times 0,3 \times P \right] \times 100 \%$$

V = volume de CO₂ produit par 0,3 g de CaCO₃ pur et sec.

V' = volume de CO₂ produit par X g de CaCO₃ contenu dans un poids P de sol.

P : poids de la prise d'essai de terre en gramme

C. Mode opératoire :

- On prendre un échantillon et on la pèse (10g).
- On mettre la dans un bicher et ajoute une quantité de 25 ml de l'acide chlorhydrique.
- On faire agiter le mélange et on le laisse une durée de 6 heures.



Figure 14 : Appareillage de détection dosage de calcaire

- **Analyse chimique de teneur en CaCO_3 des rejets phosphatés de débouillage et de dépeussierage**

Tableau 06 : analyse chimique de teneur en CaCO_3 des rejets phosphatés de débouillage et de dépeussierage

Rejet	Taux de calcaire %
Les boues de débouillage	36.52
Les fines de dépeussierage	40.12

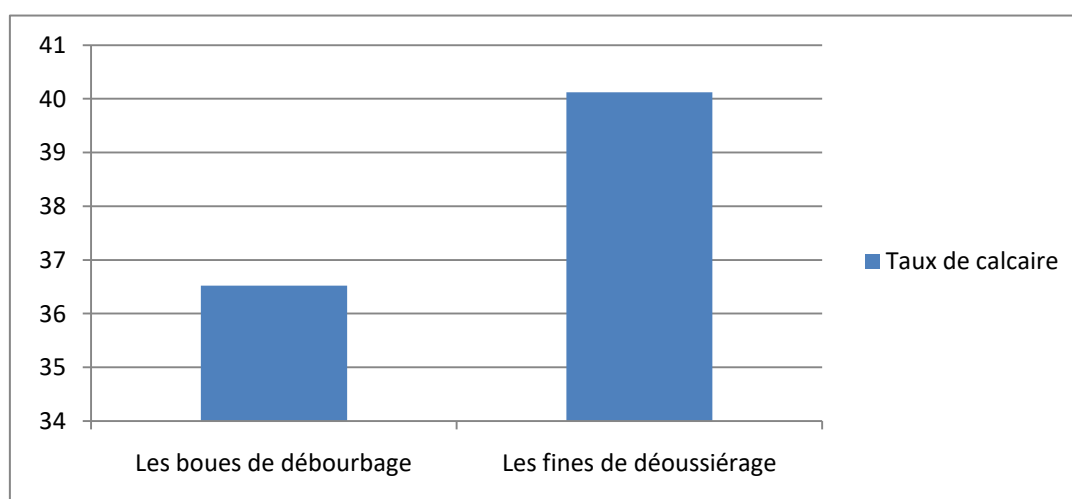


Figure 15: Histogramme des teneurs en CaCO_3 des rejets phosphatés de débouillage et de dépeussierage

2. Caractérisation des argiles

Parmi les caractéristiques qui j'intéresse à savoir sont les caractéristiques granulochimique et physiques. J'ai fait les essais physiques, chimique et granulométrique des matériaux que je vais utiliser dans mon travail.

Le matériau de base est une argile issue du gisement de bassin d'El malabiod.

➤ Exigences industriels

Les matières premières utilisées pour les produits rouges et la céramique sont principalement représentées par l'argile et la marne argileuse. Ces substrats doivent avoir des propriétés géochimiques, minéralogiques et physiques spécifiques. Ils doivent être exempts d'éléments nocifs tels que sels solubles, gypse, pyrite, inclusions carbonatées, etc. Dans tous les cas, l'adéquation des matières premières à la fabrication des briques en terre cuite dépend de la qualité du produit fini après modifications techniques appropriées.

Les paramètres généralement considérés pour la classification des matières premières de l'industrie des briques sont :

- la résistance au feu
- la teneur en Al_2O_3 et en TiO_2
- la teneur en oxyde colorants
- la plasticité
- la proportion des fractions fines et grossières.

En plus de ces caractéristiques céramiques de base, les matières premières ne doivent pas présenter d'inclusions nuisibles telles que les grains de chaux de diamètre supérieur à 3mm ; la pyrite ; la marcassite ; le gypse et les sels solubles.

La composition chimique des argiles et des marnes utilisable doit varier dans les proportions suivantes :

SiO_2 : 30 -80% ; Al_2O_3 :7 -25% ; Fe_2O_3 : 2.5 -9% ; CaO : 0.5 -25% ; MgO :0.5 -3% ;

K_2O+Na_2O : 0.5 -6% ; SO_3 : 0 -4% ; PF:0 -14% ; Teneur en eau: 5 -11%

2.1. Analyse granulométrique

2.1.1. Fractions grossières :

➤ Analyse granulométrique des argiles:

L'analyse de la taille des particules peut déterminer la distribution des particules en fonction de leur taille. Le test consiste à classer différents gains de composants, dans une série de tamis, le matériau à l'étude est placé sur la partie supérieure du tamis, et le classement des particules est obtenu par la vibration de la colonne de tamis.

- **Appareillage**

- Série des tamis : +16mm, +8mm, + 4mm, +2mm, +1mm.
- Tamiseuse
- Balance
- Echantillon d'argile (Jaune)



Figure 16 -a) Tamiseuse ; -b) Argile

Tableau 07: Analyse granulométrique de l'argile.

Classes Du Grosseur (mm)	Rendements (%)			
	Poids (g)	Partiel $\sum y$	Cumulé Passé $\sum y \nearrow$	Cumulé Refusé $\sum y \nwarrow$
+16	50.8	5.75	5.75	100
-16 +8	65.3	7.39	13.14	94.25
-8 +4	91.9	10.37	23.51	86.86
-4 +2	117.6	13.31	36.82	76.49
-2 +1	104.4	11.81	48.63	63.18
-1 +0	454.1	51.37	100	51.37
TOTALE	884.1	100		

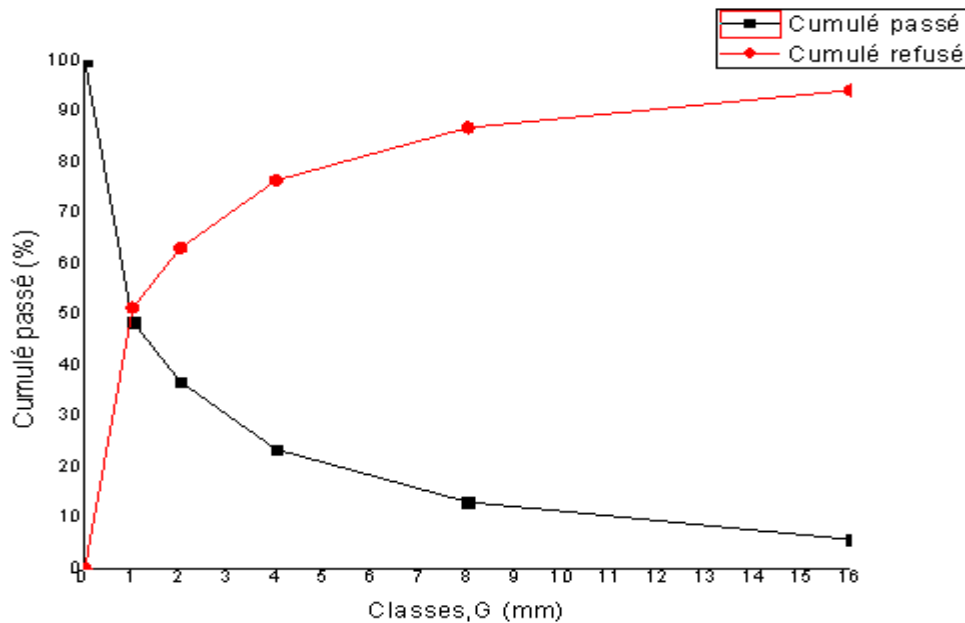


Figure 17: Courbe d'analyse granulométrique d'argile rouge

2.2. Analyses chimiques

L'analyse chimique de la géochimie nécessaire à la désignation des bases utiles a porté sur 03 échantillons prélevés dans les fouilles réparties sur le site.

Les valeurs extrêmes et moyennes de chaque élément calculées pour l'ensemble du gisement sans tenir compte des grès passés sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 08 : Composition chimique [29]

Code éch.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	SO ₃	PF
AR21 00332	50.42	17.79	6.66	6.09	2.22	2.35	0.20	0.23	0.83	0.09	13.12
AR21 00333	50.22	18.53	7.00	4.99	2.46	2.52	0.32	0.24	0.85	0.01	12.77
AR21 00334	51.27	16.72	6.66	6.52	2.18	2.31	0.33	0.23	0.81	0.01	12.91

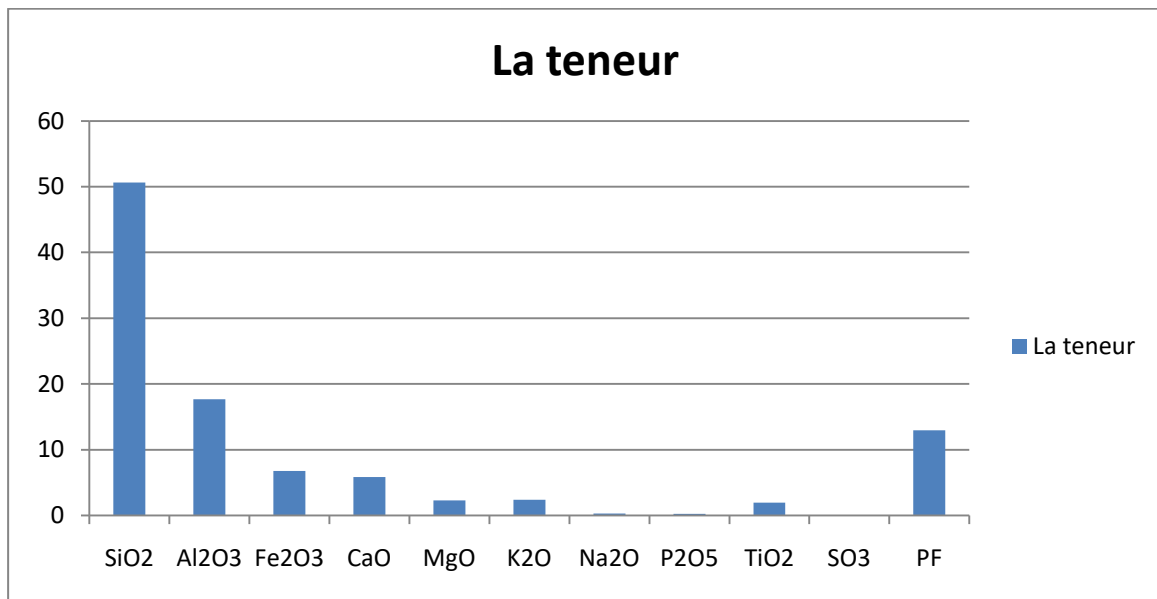


Figure 18: Histogramme des teneurs des éléments chimiques d'argile.

Commentaire :

Selon les résultats des tests chimiques, le gisement étudié peuvent être utilisés comme matières premières pour la fabrication de terre cuite.

➤ **Dosage du calcaire :**

Tableau 09 : Analyse chimique de teneur en CaCO₃ des argiles.

Echantillons	Taux de calcaire (%)
Argile jaune	8.87

✓ **Commentaire :**

L'argile est possédée un pourcentage de calcaire acceptable à l'exigence industrielle.

2.3. Essais physiques

Les essais de détermination des propriétés de la roche ont porté sur un total de trois (03) échantillons prélevés dans différentes fouilles pour assurer une bonne représentation du gisement. Les échantillons entiers extraits sont paraffinés immédiatement après extraction afin de préserver leurs propriétés physiques jusqu'à l'analyse en laboratoire.

2.3.1. La masse volumique

La masse volumique (ρ) se définit comme la masse (m) d'une substance par unité de volume (v). Elle se calcule à l'aide de la formule suivante : $\rho = m/v$. On utilisera ici le gramme (g) comme unité de masse et le millilitre (mL) comme unité de volume. La masse volumique s'exprime donc en g/mL

Tableau 10 : La masse volumique [29].

Code échantillons	Masse volumique en (kg/m ³)
AR21 00332	2101.0
AR21 00333	2093.5
AR21 00334	2133.5
Moyen	2109.3

2.3.2. La teneur en eau [la norme NF P 94-050]

Teneur en eau pondérale d'un matériau (w) : rapport de la masse de l'eau évaporée lors de l'étuvage (m_w) sur la masse des grains solides (m_d), exprimé en pourcentage

$$W = m_w / m_d$$

- **Principe de détermination de la teneur en eau**

La perte d'eau d'un échantillon de matériau est provoquée par étuvage. Les masses de l'échantillon et de l'eau évaporée sont mesurées par pesage.

- **Méthode de la détermination de la teneur en eau :**

- L'échantillon de matériau est pesé, puis placé dans une étuve. Une fois la dessiccation réalisée.
- L'échantillon est pesé à nouveau

Les deux pesées donnent par différence la masse d'eau évaporée.

- **la teneur en eau d'argile** : les résultats sont consignés dans le tableau suivant

Tableau 11 : la teneur en eau.

Code éch.	Teneur en eau (W %)
01	7.6
02	9.8
03	8.6
Moyen	8.67

2.3.3. Les limites d'atterberge [NF P 94- 051]:

La teneur en eau qui définit l'état de consistance du sol est appelée limite de consistance ou limite d'atterberge. Ces limites en pourcentage sont la limite plastique et la limite liquide. Ils sont utilisés pour identifier et classer les sols fins dont les particules sont invisibles à l'œil nu. Ils apportent des informations complémentaires à celles obtenues par la granulométrie laser et les dosages de sédimentation. La limite plastique 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 19 –a)Appareil de casagrande ;–b Etuve

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**.

$$IP = wL - wP$$



Figure 20 : Quelques photos de l'essai de limite d'atterberge

✓ **Expression des résultats :**

1) Limite de liquidité

La limite de liquidité w_L est la teneur en eau du matériau qui correspond conventionnellement à une fermeture sur 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs.

Elle est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les couples de valeurs expérimentales (Ig N, w)

2) Limite de plasticité :

La limite de plasticité w_P est la teneur en eau conventionnelle d'un rouleau de sol qui se fissure au moment où son diamètre atteint $3.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$.

W_P est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenues à partir de deux essais. La valeur de la limite de plasticité est exprimée en pourcentage et l'intervalle d'arrondissement est de 1.

3) Indice de plasticité :

I_P est la différence entre les valeurs des limites de liquidité et de plasticité.

$$I_P = w_L - w_P$$

Tableau 12 : le degré de saturation par l'indice de plasticité.

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

Tableau 13 : limite de liquidité de la coupelle de casagrande.

Mesure n°	1	2	3
Nombre de coups N	16	25	33
Teneur en eau %	38.5	38.7	39.7

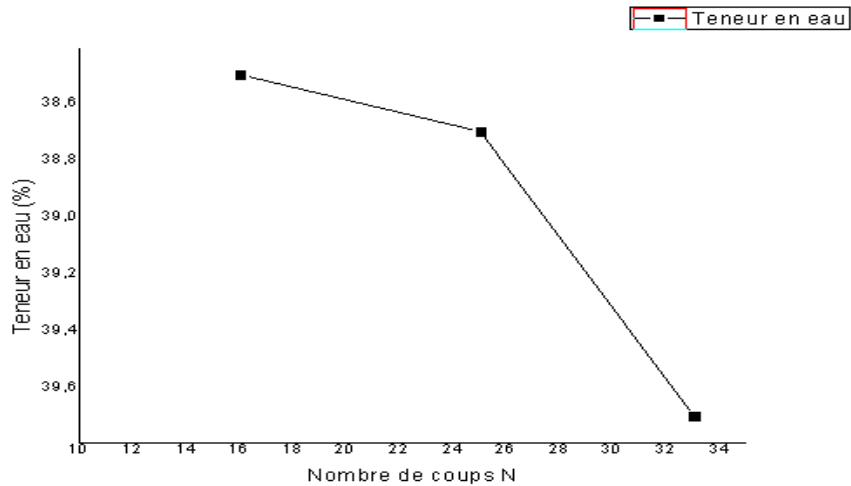


Figure 21 : Courbe de limite de liquidité de la coupelle de Casagrande

Tableau 14 : limite d'atterberge

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 23	W= 23.2	W _p = 23.2
	W= 23.3		
Limite de liquidité : w _L = 37.5 %	Indice de plasticité : I _p = 16.3		
Limite de plasticité : w _p = 21.2%			

✓ **Commentaire :**

L'argile est plastique selon son indice de plasticité.

2.4. Absorption d'eau

L'absorption d'eau par trempage est le résultat d'un mouvement capillaire dans les pores de la brique, ouverts au milieu ambiant comme une image de porosité.

Par conséquent, l'absorption d'eau est utilisée comme l'un des indicateurs importants de la qualité de la brique. La faible porosité est la meilleure défense de la brique contre les facteurs externes agressifs. Afin d'améliorer la résistance et la durabilité des produits céramiques, un test d'absorption d'eau a été effectué sur les éprouvettes. L'absorption d'eau a été déterminée en immergeant des échantillons de briques dans l'eau jusqu'à une masse constante. Les opérations sont effectuées dans l'ordre suivant :

- Immersion dans une cuve d'eau à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant au moins 48 heures ou jusqu'à poids humide constant. Avant de peser, essuyez soigneusement l'échantillon avec un chiffon pour absorber toute l'humidité de surface.

- Sécher en étuve ventilée maintenue à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ pendant au moins 72 heures ou jusqu'à masse sèche constante.

La masse est considérée comme constante lorsque deux pesées consécutives à 24 heures d'intervalle ne diffèrent pas de plus de 0,1 %. L'absorption d'immersion (Abs) est exprimée en pourcentage de masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$\text{Abs} = 100 \times (m_h - m_s) / m_s$$

Avec: m_h , la masse humide constante de l'éprouvette après immersion; m_s , la masse sèche constante de l'éprouvette après séchage à l'étuve.

Tableau 15: l'absorption d'eau.

Code	m_h	m_s	Abs
AR	72.1	63.4	13.72

3. Conclusion

Les résultats des essais granulo-chimiques des différents rejets phosphatés, on a observé que les rejets du secteur de traitement par voie humide et par voie sèche a des taux de calcaire acceptable par rapport aux exigences de l'industrie des terres cuites.

Ainsi que les résultats des essais physico-chimiques sont caractérisés d'une argile plastique, saine qui ne renferme pas d'inclusion carbonatées, gypseuses ni autres éléments indésirables tels que les sulfates et sels solubles.

CHAPITRE IV
CADRE
METHODOLOGIQUE ET
RESULTATS



Introduction

Afin d'obtenir un mélange d'argile et rejets phosphatés, ces principaux composants doivent être caractérisés (analyses chimiques, essais physiques, etc.) de ces principaux constituants était nécessaire afin d'élaborer un traitement rentable soit techniquement, économiquement et environnemental.

A partir les rejets phosphatés et l'argile (jaune), nous essaierons de nouveau méthode comme les limites d'atterberge et dans ce chapitre, j'essayerai de bien faire ce test pour l'optimisation de la qualité.

1. Analyse chimique :

1.1. Dosage du calcaire

a. Principe :

On attaque un poids connu de terre par l'acide chlorhydrique :



Cette réaction permet d'utiliser une méthode gazométrique puisque l'on distingue qu'une mole de CaCO_3 permet le dégagement d'une mole de gaz carbonique.

b. Mode opératoire :

- On prend un échantillon et on la pèse (10g).
- On mettre la dans un bicher et ajoute une quantité de 25 ml de l'acide chlorhydrique.
- On faire agiter le mélange et on le laisse une durée de 6 heures.

c. Calculs et expression des résultats :

$$\text{CaCO}_3 = \left[\frac{V'}{V} \times 0.3 / V \times P \right] \times 100$$

V = volume de CO_2 produit par 0.3 g de CaCO_3 pur et sec.

V' = volume de CO_2 produit par X g de CaCO_3 contenu dans un poids P de sol

1) Dosage du calcaire des fines de dépoussiérage avec l'argile jaune

Tableau 1 : Analyse chimique de teneur en CaCO_3 des fines de dépoussiérage avec l'argile jaune

Echantillon	% de rejet	% de AR jaune	Teneur en CaCO_3 (%)
01	10	90	1.25
02	20	80	1.25
03	30	70	1.5
04	40	60	1.75

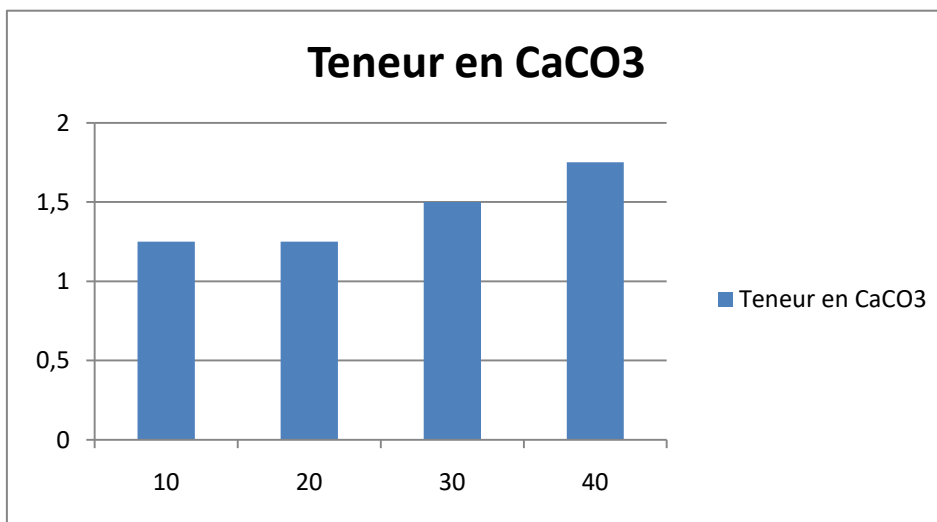


Figure.01: Histogramme des teneurs en CaCO₃ des Refus de débouillage+1mm avec l'argile jaune

2) Dosage du calcaire des boues débouillage avec l'argile rouge et jaune

Tableau 2 : Analyse chimique de teneur en CaCO₃des boues de débouillage avec l'argile jaune

Echantillon	% de rejet	% de AR jaune	Teneur en CaCO ₃ (%)
01	10	90	1.25
02	20	80	1.5
03	30	70	1.75
04	40	60	2

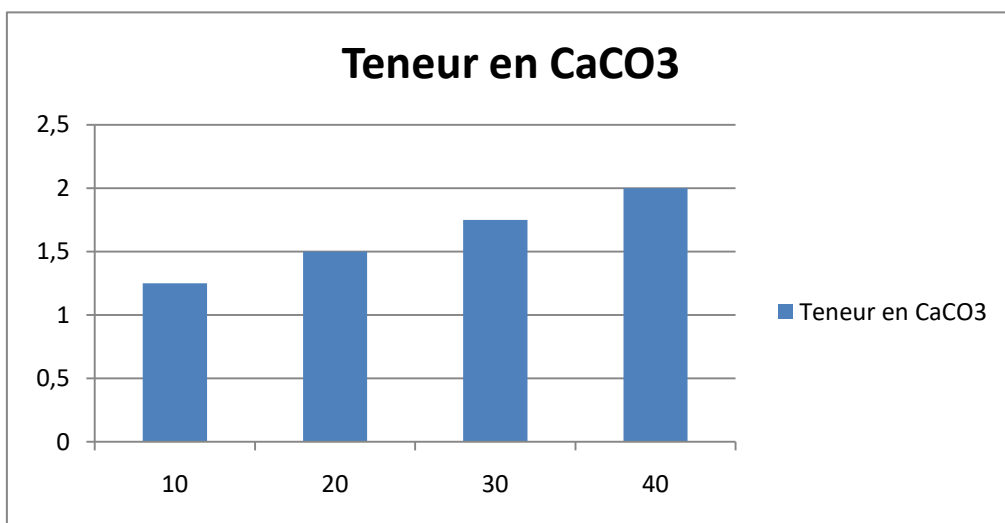


Figure.02: Histogramme des teneurs en CaCO₃des boues de débouillage avec l'argile jaune

Commentaire :

A la fin des essais réalisés, pour tous les mélanges et les dosages on observe :

- Un taux de calcaire bas donc acceptable
- Le taux de calcaire augmente en parallèle avec le dosage de rejet.

2. Essais physiques**2.1. Les limites d'atterberge [NF P 94- 051]:**

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

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.

$$IP = wL - wP$$

✓ **Expression des résultats :**

a. Limite de liquidité

La limite de liquidité w_L est la teneur en eau du matériau qui correspond conventionnellement à une fermeture sur 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs.

Elle est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les couples de valeurs expérimentales ($Ig N, w$)

La limite w_L est obtenue pour une valeur N égale à 25. Elle est exprimée en pourcentage et arrondie au nombre entier le plus proche : l'intervalle d'arrondissement est de 1.

b. Limite de plasticité :

La limite de plasticité w_P est la teneur en eau conventionnelle d'un rouleau de sol qui se fissure au moment où son diamètre atteint $3.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$.

w_P est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenues à partir de deux essais. La valeur de la limite de plasticité est exprimée en pourcentage et l'intervalle d'arrondissement est de 1.

c. Indice de plasticité :

I_P est la différence entre les valeurs des limites de liquidité et de plasticité.

$$I_P = w_L - w_P$$

2.1.1. Pour les fines de dépoussiérage :

1) Mélange de 10% de rejets et 90% d'argile :

Tableau 3 : limite d'atterberge (10% de rejets et 90% d'argile)

	W= 18.8		
Teneur en eau de plasticité (%)	W= 18.4	W= 18.6	W_P= 18.6
Limite de liquidité : $w_L = 37 \%$	Indice de plasticité :		
Limite de plasticité : $w_P = 18.6 \%$	$I_P = 18.4$		

2) Mélange de 20% de rejets et 80% d'argile :

Tableau 4 : limite d'atterberge (20% de rejets et 80% d'argile)

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 19.8	W= 19.6	W _p = 19.6
	W= 19.4		
Limite de liquidité : w _L = 37 %	Indice de plasticité : I _p = 17.4		
Limite de plasticité : w _p = 19.6 %			

3) Mélange de 30% de rejets et 70% d'argile :

Tableau 5 : limite d'atterberge (30% de rejets et 70% d'argile)

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 21	W= 20.8	W _p = 20.8
	W= 20.6		
Limite de liquidité : w _L = 36 %	Indice de plasticité : I _p = 15.2		
Limite de plasticité : w _p = 20.8%			

4) Mélange de 40% de rejets et 60% d'argile :

Tableau 6 : limite d'atterberge (40% de rejets et 60% d'argile)

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 21.8	W= 21.4	W _p = 21.4
	W= 21.6		
Limite de liquidité : w _L = 35.5 %	Indice de plasticité : I _p = 14.6		
Limite de plasticité : w _p = 21.4%			

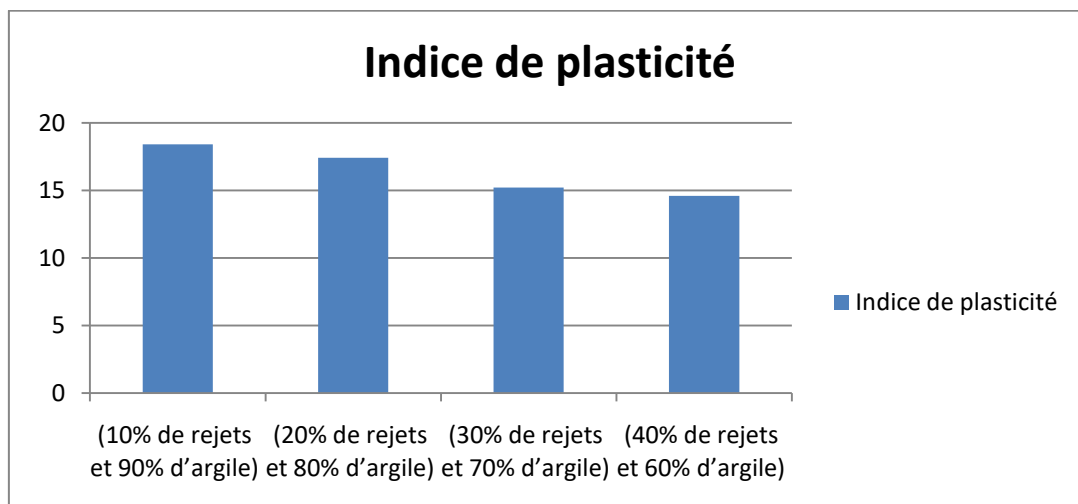


Figure.03: Histogramme de la limite d’atterberge du mélange des fines de dépoussiérage avec l’argile (par pourcentage).

2.1.2. Pour les boues de débouillage :

1) Mélange de 10% de rejets et 90% d’argile :

Tableau 7 : limite d’atterberge (10% de rejets et 90% d’argile)

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 17.6	W= 17.4	W_p= 17.4
	W= 17.2		
Limite de liquidité : w_L= 36 %	Indice de plasticité : I_p= 18.6		
Limite de plasticité : w_p= 17.4 %			

2) Mélange de 20% de rejets et 80% d’argile :

Tableau 8 : limite d’atterberge (20% de rejets et 80% d’argile)

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 19	W= 18.8	W_p= 18.8
	W= 18.6		
Limite de liquidité : w_L= 36 %	Indice de plasticité : I_p= 17.2		
Limite de plasticité : w_p= 18.8 %			

3) Mélange de 30% de rejets et 70% d'argile :

Tableau 9 : limite d'atterberge (30% de rejets et 70% d'argile)

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 19.6	W= 19.4	W _p = 19.4
	W= 19.2		
Limite de liquidité : w _L = 35 %	Indice de plasticité : I _p = 15.6		
Limite de plasticité : w _p = 19.4%			

4) Mélange de 40% de rejets et 60% d'argile :

Tableau 10 : limite d'atterberge (40% de rejets et 60% d'argile)

Teneur en eau de plasticité (%)	W= 21.4	W= 21.2	W _p = 21.2
	W= 21		
Limite de liquidité : w _L = 35 %	Indice de plasticité : I _p = 13.8		
Limite de plasticité : w _p = 21.2%			

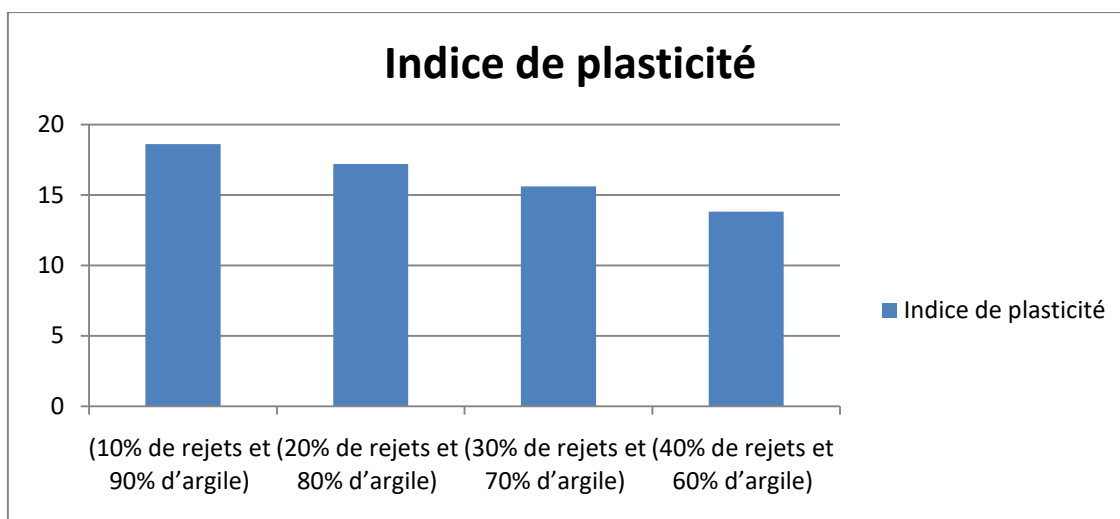


Figure.04. Histogramme de l'indice de plasticité du mélange des boues de débouage avec l'argile (par pourcentage).

✓ **Commentaire :**

- Les mélanges sont plastiques selon son indice de plasticité
- L'indice de plasticité un peu abaisse en parallèle avec le dosage de rejet.

3. Discussion et conclusion

Pour trouver une solution optimale de mon problématique j'ai fait une caractérisation des rejets phosphatés (les boues de débouillage et les fines de dépolvoisiéragé) de la mine de Djebel Onk et des argiles (Argile jaune) d'El ma labiod ainsi que du mélange expérimental avec des différents dosages des argiles comme une matière première et des rejets comme un ajout. La caractérisation des rejets débute par un échantillonnage et une analyse granulométrique de rejet puis des analyses chimique pour déterminer les dosages qui nous intéressent et elle est comme suite :

- Dosage du P_2O_5 , on a trouvé que tous les rejets incluent un pourcentage intéressant
- Dosage du magnésium MgO : les rejets ont un pourcentage élevé
- Dosage du CO_2 : les rejets contient un pourcentage dans l'intervalle de 10 à 15%
- Dosage de $CaCO_3$: il existe une teneur élevé au sein des différents rejets

À l'objectif d'assurer la potentialité de cette argile dans l'industrie céramique (fabrication des briques), on a réalisé les essais suivantes, débutant par une analyse granulométrique, nous a donné comme résultat que notre gisement est faiblement dispersé puis une analyse chimique de dosage du calcaire ; on a trouve que l'argile ont un taux de calcaire acceptable par rapport aux exigences industrielles. Comme résultats des essais physiques « Limite d'atterberge » les argiles sont plastiques.

Finalement, on est susceptible que les fines de dépolvoisiéragé et les bous de débouillage comme un rejet acceptable selon son taux de calcaire et sa granulométrie et d'après la caractérisation des rejets, des argiles et du mélange ainsi que le paramètre important liée à mon problématique.

CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

Pour répondre à des questions en relation avec la valorisation des rejets miniers phosphatés dans le domaine des matériaux de construction. Ces questions ont été mentionnées en objectifs et qui ont été définis à la problématique. j'ai utilisé les rejets phosphatés comme un ajouts dans le but de la préservation de l'environnement de la région de Bir elater .Pour cela on a effectué une étude géologique des deux zones étudiées (bir el ater et el malabiod) ; on a constaté que l'argile (jaune) d'el ma labiod qui peuvent être utiliser directement dans la chaine de fabrication .

Pour atteindre des objectifs voulus on a essayé de les développer en se basant sur des revues de littérature, Les matières premières et rejets miniers phosphatés ont été étudiés et caractérisés pour leurs propriétés physiques, chimiques, et minéralogiques analyse granulométrique, dosage de MgO, CO₂, CaCO₃ et P₂O₅) et la caractérisation des argiles et leurs potentialités dans la fabrication des brique au niveau de la briqueterie . Pour cela des analyses granulométriques, chimiques (taux de calcaire), essais physiques (limite d'atterberge, la masse volumique) et l'absorption d'eau ont été réalisées.

Chaque type de rejets miniers présentait des propriétés différentes et dépendent de la géologie d'origine, de la composition chimique et minéralogique du gisement d'origine, du procédé de traitement dans lequel le minerai a été traité.

En ce qui concerne le mélange des deux caractérisations précédentes avec les mêmes essais du chapitre précédent jusqu'à l'obtention d'un rejet acceptable qui sont les boues de débouillage et les fines de dépoussiérage à cause de ses faible taux de calcaire, ses granulométrie et ses pourcentage de MgO et en fin on a obtenu un mélange plastique avec un taux de calcaire bas acceptable qui respecte toute les exigences industriels de la fabrication des terres cuites.

Les résultats de caractérisation des rejets miniers ont permis aussi de comprendre les différences de propriétés physico-chimiques et minéralogiques avec les argiles utilisées dans la fabrication de briques cuites.

Pour les apports environnementaux ce travail présente des solutions quant à la résolution du problème de devenir d'une grande variété de rejets solides. Ces résultats peuvent nourrir les études cherchant à améliorer la gestion des grandes quantités de rejets stockées à la surface ayant un risque potentiel sur l' environnement. Ils permettront ainsi de

CONCLUSION GENERALE

diminuer le stockage des rejets qui impactent l'écosystème, de réduire les volumes de rejets tout en protégeant la santé et la sécurité des populations. En plus, la réutilisation des rejets dans le domaine des matériaux de construction permettra de diminuer la consommation exhaustive des ressources naturelles non renouvelables ayant une grande importance dans le maintien des équilibres de l'écosystème.

Références bibliographique

- [1] : Rouabhia Aek, cartes piézométriques et structures géologique et hydrogéologique du système aquifère de la plaine d' d'El MALABIOD.
- [2] : LEKRINE Yacine, 2015. Hydrodynamisme et minéralisation du complexe aquifère du bassin frontalier d'EL MALABIOD Wilaya de TEBESSA. Thèse de magister, Université Constantine1, 157 p.
- [3] : Guefaifia Omar .Contribution a l'étude hydrogeologique de la nappe aquifère d'El Ma El Abiod. Université d'Annaba. 1996. Magister.
- [4] : ROUABHIA Abdelkader, et al, 2004. Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. N.E Algérie. Université d'Annaba, Algérie. 2006. Thèse de doctorat
- [5] : Valorisation des phosphates naturels du vietnam compte rendu de mission du 29 novembre au 8 decembre 1989, Binh TRUONG Christian FAYARD, AOUT 1990.
- [6] : Valorisation des phosphates naturels pour un usage agricole en Chine, D. MONTANGE et B. TRUONG, Décembre 1 998
- [7] : HAMOUDI Souaad , Étude de la distribution des éléments traces dans les minerais de phosphate de Djebel-Onk (Tébessa) et leurs comportements selon les différents procédés de traitement, Mémoire de Magister, 2010
- [8] : Rapport de stage, INCONNU, la valorisation de phosphates, département de géologie, université du Marrakech.
- [9] : Tiszaoui Khadidja, Elimination des métaux lourds par une argile Marneuse, thèse pour Doctorat en sciences, le 16/01/2019.
- [10]: Y. Gutha , V.S. Munagapati , M. Naushad , K. Abburi , Removal of Ni (II) from aqueous solution by Lycopersicum esculentum (tomato) leaf powder as a low - cost biosorbent , Desal . Wat . Treat. , 54 (2015) 200-208.
- [11]: F.Z. Choumane, B. Benguella , Removal of acetamiprid from aqueous solutions with low - cost sorbents , Desal . Wat. Treat. , 57 (2016) 419-430.
- [12]: B. Benguella , A. Yacouta - Nour , Adsorption of Bezanyl Red and Nylomine Green from aqueous solution by natural and acid activated bentonite , Desalination , 235 (2009) 276-292 .
- [13] : Complexe minier Djebel Onk- Bir El Ater.
- [14] : <https://mm.edihosts.com/>
- [15] : Mémoire de magister M^{elle}, CHOUGA Nassima « épuration des eaux usées par un matériau argileux », [2012/2013], page 03, 04.

[16] : journal of applied sciences, Article de BOUZENZANA Abd ellaali [2007], page 25 ; 53.

[17] : Mémoire de Magister, SALHI Malek « valorisation des terres décolorantes dans la production de brique [2015].

[18] : Thèse de doctorat de Meriam ELOUAHABI « valorisation industrielle et artisanale des argiles des Maroc », [2013], page 15, 16.

[19] : Mémoire de Magister, M^{elle}, Hasna BOUCHARB « synthèse et étude structural des phosphates mixtes des métaux à valence I et II », [2010]

[20] : <https://lelementarium.fr/>

[21]: U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022

[22] : www.aquaportail.com

[23] : www.Fao.org

[24] : www.cresus.dz

[25] : blog.orendatech.com

[26] : Bilan des activités minière- année, page 41, 42.

[27] : Mémoire de Master, Samir BEN AMAR et Rafiha SELMANI, « Valorisation des argiles et des rejets phosphatés pour la fabrication des terres cuites»,2018

[28] : Mémoire Magister, M^{me}. BAKHTAOUI NAIMA, «caractérisations des composites à base d'argile et application à l'environnement»,2015

[29] : Rapport d'essai N° : Direction des Laboratoires, GICA.

[NF P 94- 051] : **norme française homologuée** par décision du Directeur Générale de l'afnor le 05 février 1993 pour prendre effet le 05 mars 1993.