

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
جامعة مولود معمري  
Faculté des Sciences Biologiques et des sciences Agronomiques  
Département des Sciences Géologiques



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**Option : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnements**

**Par :**

Bouaraba Lounes

**Thème :**

Contribution à l'étude environnementale et valorisation des rejets de  
la mine de phosphate du Djebel Onk – Tébessa (NE Algérien)

Encadré par : M. Izri.

**Soutenu publiquement le 19/09/ 2022 devant le Jury composé de:**

Mr. Sami.L.....Professeur à l'UMMTO.....Président

Mr. Makhlouf. A ..... M.C.A à l'UMMTO..... Examineur

Mr. Hamis.....M.C.B à l'UMMTO.....Examineur

M.Izri. D.....M.A.A. à l'UMMTO ..... Encadreur

2021 /2022

# Remerciements

Tout d'abord, je remercie le Dieu tout puissant de m'avoir donné la force, le courage, la patience, la volonté pour terminer ce travail.

Je remercie ma promotrice madame Izri, pour avoir dirigé ce travail et d'avoir veillé avec dévouement à son déroulement.

Je remercie tous les enseignants du département de géologie, qui m'ont apporté aide et conseils notamment Mr Makhoulf Ali.

J'adresse un remerciement à tous le personnel de la mine de Djebel Onk, spécialement Mr Ali Mouhamed et Mr Fares Sofiane, qui nous ont bien reçus et facilité le stage de terrain.

Je tiens à remercier du fond du cœur ma famille, car c'est une source de courage sans eux je n'arriverai jamais où je suis maintenant.

Enfin merci à toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin pour la réalisation de ce travail, spécialement mon chère amie Karim Belkalem, Aghiles Bouaffad.

**LOUNES**

# Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents adorés, qui ont tous donnés pour que je Puisse atteindre mon but et qui m'ont soutenu d'amour et de bonheur. Que Dieu me les protège.

A mes grands parents que je leur souhaite une longue vie pleine de bonheur.

A mon frère et ma sœur Hamou et Damya.

A toute ma famille et mes proches.

Mes professeurs qui m'ont tant appris.

Mes amis ne cessent de m'encourager chaque jour :

karim, Madjid, Sofiane, Adouda, Aghiless.

Et mes camarades de section R.M.G.E.

**L O U N E S**

# SOMMAIRE

## CHAPITRE I : GENERALITES

|  |   |
|--|---|
| 1. Introduction.....   | 1 |
| 2. But du travail .....  | 3 |
| 3. Méthodes de travail .....   | 3 |
| 4. Situation Géographique.....   | 4 |
| 4.1. Situation géographique de la région de Tébessa.....                             | 4 |
| 4.2. Situation géographique de la zone d'étude .....                                 | 5 |
| 5. Condition d'affleurement, climat et végétation .....                              | 6 |
| 5.1. Condition d'affleurement .....  | 6 |
| 5.2. Climat et végétation .....  | 7 |
| 6. Historique des travaux d'exploration- exploitation des phosphates de Tébessa..... | 7 |

## CHAPITRE II : GEOLOGIE

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| I. Géologie Régional .....    | 10 |
| 1. Introduction.....          | 10 |
| 2. Stratigraphie .....        | 10 |
| 2.1. Le Trias .....           | 10 |
| 2.2. Jurassique .....         | 10 |
| 2.3. Crétacé .....            | 10 |
| 2.3.1. Maestrichtien .....    | 10 |
| 2.4. Le paléocène .....       | 11 |
| 2.4.1. Le Daniens.....        | 11 |
| 1. Le Danien inférieur .....  | 11 |
| 2. Le Danien supérieure ..... | 11 |
| 2.4.2. Montient .....         | 11 |
| 2.4.3. Thanétien .....        | 11 |
| 1. Thanétien inférieur .....  | 11 |
| 2. Thanétien supérieur .....  | 11 |
| 2.5. Eocène .....             | 12 |
| 2.5.1. Yprésien .....         | 12 |
| 1. Ypresien inférieur .....   | 12 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 2. Yprésien supérieur .....      | 12 |
| 2.5.2. Lutétien .....            | 12 |
| 1. Lutétien inférieur .....      | 12 |
| 2. Lutétien supérieur .....      | 12 |
| 2.6. Miocène .....               | 12 |
| 1. Miocène inférieur .....       | 12 |
| 2. Miocène moyen .....           | 12 |
| 3. Miocène supérieur .....       | 13 |
| 2.7. Quaternaire .....           | 13 |
| 3. La tectonique .....           | 14 |
| II. Géologie Locale .....        | 16 |
| 1. Introduction .....            | 16 |
| 2. Stratigraphie .....           | 16 |
| 2.1. Le crétacé .....            | 16 |
| 2.1.1. Le maestrichien.....      | 16 |
| 2.2. Le paléocène.....           | 16 |
| 2.2.1. Le danien.....            | 16 |
| a. Le danien inférieur.....      | 16 |
| b. Le danien supérieur.....      | 16 |
| 2.2.2. Le montien.....           | 16 |
| 2.2.3. Le thanétien.....         | 17 |
| a. Le thanétien inférieur.....   | 17 |
| b. Le thanétien supérieur.....   | 17 |
| 2.3. L'eocène.....               | 17 |
| 2.3.1. L'yprésien.....           | 17 |
| a. L'yprésien inférieur.....     | 17 |
| b. L'yprésien supérieur.....     | 17 |
| 2.3.2. Le lutitien.....          | 17 |
| a. Le lutitien inférieur.....    | 18 |
| b. Le lutitien supérieur.....    | 18 |
| 2.4. Le miocène.....             | 18 |
| 2.4.1. Le miocène inférieur..... | 18 |
| 2.4.2. Le miocène moyen.....     | 18 |
| 2.4.3. Le miocène supérieur..... | 18 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 2.5. Le quaternaire..... | 18 |
| III. La Géologie .....   | 21 |

### CHAPITRE III : EXPLOITATION ET TRAITEMENT :

|  |    |
|--|----|
| I. L'exploitation de gisement de Djebel Onk .....      | 24 |
| 1. Introduction :.....                                 | 24 |
| 2. La méthode d'exploitation :.....                    | 24 |
| 2.1. Introduction :.....                               | 24 |
| 2.2. La notion d'une carrière :.....                   | 24 |
| 2.3. Les opérations minières : .....                   | 25 |
| 1. Le terrassement :.....                              | 25 |
| 2. La Foration :.....                                  | 26 |
| 3. L'abattage : .....                                  | 27 |
| 4. Le chargement :.....                                | 27 |
| 5. Transport :.....                                    | 28 |
| II. Traitement du minerai de Djebel Onk :.....         | 29 |
| 1. Préparation mécanique :.....                        | 29 |
| 1.1. Concassage :.....                                 | 29 |
| 1.2. Broyage :.....                                    | 30 |
| 1.3. Criblage : .....                                  | 30 |
| 2. Le traitement.....                                  | 29 |
| 2.1. Traitement par voie humide :.....                 | 31 |
| 2.1.1. Débourbage :.....                               | 31 |
| 2.1.2. Calcination :.....                              | 34 |
| 2.1.3. Lavage : .....                                  | 34 |
| 2.1.4. Séchage :.....                                  | 34 |
| 2.2. Traitement par voie sèche (Dépoussiérage) :.....  | 34 |
| 1. Le séchage du minerai criblé en lit fluidisé :..... | 34 |
| 2. Criblage à 2 mm : .....                             | 35 |
| 3. Broyage a attrition.....                            | 35 |
| 4. Sélection par une turbo sélection ventilée :.....   | 35 |
| 5. Criblage à 0.8 mm :.....                            | 35 |

## CHAPITRE IV : ENVIRONNEMENT

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction.....                                       | 38 |
| 2. Chimie des phosphates.....                              | 38 |
| 2.1. les éléments majeurs.....                             | 39 |
| 2.2. Les éléments en trace.....                            | 40 |
| 2.3. Les éléments dangereux dans le phosphate naturel..... | 40 |
| I. Pollution.....  | 41 |
| I.1. Les rejets de la mine de Djebel Onk.....              | 41 |
| I.1.1. Les rejets de la carrière.....                      | 41 |
| I.1.1.1. La poussière.....                                 | 41 |
| I.1.1.2. Paysage.....                                      | 41 |
| I.1.1.3. Bruit.....  | 41 |
| I.1.1.4. Stéril.....                                       | 41 |
| I.1.1.5. Les rejets gazeux.....                            | 42 |
| I.1.2. Les rejets de la station de traitement.....         | 43 |
| I.1.2.1. Refus.....  | 43 |
| I.1.2.2. Rejets liquide.....                               | 44 |
| a. Eau de traitement.....                                  | 44 |
| b. Les schlamms.....                                       | 46 |
| I.1.2.3. Rejets solides.....                               | 47 |
| I.2. Conclusion sur l'état des lieux.....                  | 49 |
| II. Mesure de gestion et valorisation :.....               | 50 |
| 1. Recouvrement des terrils.....                           | 50 |
| 2. Traitement des fines par flottation.....                | 51 |
| 2.1. Introduction.....                                     | 51 |
| 2.2. Principe de flottation.....                           | 51 |
| 2.3. Différents types de flottation.....                   | 51 |
| 2.3.1. La flottation à l'air induit (FAI).....             | 52 |

|   |    |
|---|----|
| 2.3.2. Micro flottation.....  | 52 |
| 2.4. Mécanismes fondamentaux de la flottation.....                                  | 52 |
| 2.4.1. Modèle à trois zones.....  | 52 |
| 2.4.2. Modèle à trois étapes.....   | 53 |
| 2.5. Réactifs de flottation.....  | 53 |
| 2.5.1. Cellule de flottation.....   | 54 |
| 2.6. L'efficacité de la flottation dépend des conditions suivantes.....             | 54 |
| 2.7. La flottation utilisée dans des cas de traitement de phosphate du Djebel Onk.. | 55 |
| <u>CONCLUSION GENERALE</u>  |    |
| Conclusion.....   | 57 |

# Liste des figures

|   |           |
|---|-----------|
| figure.I -1. photo montrant l'emplacement de la wilaya de tébessa.....  | 5         |
| figure. I-2. carte montrant l'emplacement du djebel onk.....  | 6         |
| Figure II-1: colonne stratigraphique de djebel onk par I.d. visse (1951).....   | 13        |
| Figure II-2 : carte structurale de la region de djebel onk a l'interieur du bassin gafsa-metlaoui-onk (aissaoui 1984).....      | 15        |
| <i>Fig. II-3: Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk – Algérie orientale (Cielensky et Benchernine, 1987) .....</i> | <i>19</i> |
| figure II. 4. coupe stratigraphiques et structurales des flans Nord et Sud de Djebel Onk(CIELNSKY et al, 1988).....             | 20        |
| figure II.5. Schéma de la phosphatogenése selon kazakov a.v(1930).....  | 22        |
| figureIII-1 :Photo montrant la carrière de djebel onk .....   | 25        |
| figure III-2 : photo montrant une forreuse.....   | 26        |
| <b>figure III-3: photo montrant une pelle.....</b>  | <b>28</b> |
| figure III-4: PHOTO MONTRANT UN CAMION.....   | 29        |
| figure III-5 : L'etape de concassage des phosphates.....  | 27        |
| figure.III-6 : SCHEMA TECHNOLOGIQUE DE LA PREPARATION MECANIQUE DU MINERAI.....   | 31        |
| figure III-7: schéma de débouillage (voie humide).....  | 33        |
| figure III-8 : Schéma de dépoussiérage.....   | 36        |
| Figure IV-1: décharges internes et externes du stérile de kef sennoun.....  | 42        |
| Figure IV-2: STOCK DES REFUS GROSSIERS DJEMIDJEMA ZONE II.....  | 43        |
| Figure IV-3: stock des rejets grossiers kef essenoun.....   | 44        |
| Figure IV-4:rejet liquide de l'atelier de debouillage.....  | 46        |

|  |    |
|--|----|
| Figure IV-5: Terril des rejets solides.....                      | 49 |
| Figure IV-7:schéma d'un exemple du recouvrement des résidus..... | 50 |
| Figure IV-8: Cellule de flottation.....                          | 55 |

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau IV-1: Concentration des éléments en traces dans les phosphates du Djebel Onk.....           | 40 |
| Tableau IV-2: les analyses chimiques des eaux.....  | 45 |
| Tableau IV-3: Analyses chimiques et granulométriques des shlamms, cas de gisement kef essenoun..... | 46 |
| Tableau IV-4:analyses chimiques et granulométriques des fines, cas de gisement de kef essenoun..... | 48 |

## Liste des abréviations

FERPHOS : l'Entreprise Nationale du Fer et du Phosphate.

SOMIPHOS : Société des Mines de Phosphates.

SONAREM : *Société nationale* de recherche et d'exploitation minière.

EREM :Enterprise de recherche et des études minières.

BRGM :Bureau de recherches géologiques et minières.

SOFREMINES :Société Française d'études Minières.

TPL :Triphosphate of Lime.

# Chapitre I :

# GENERALITES

## 1. Introduction :

Une mine est un ensemble d'infrastructures construites sur un gisement géologique pour en extraire du minerai (fer, or, cuivre, uranium...) ou d'autres composés naturels solides (charbon, diamant, sel gemme, potasse...). Si le matériau extrait est à ciel ouvert, on l'appelle alors une carrière.

L'industrie minière est le secteur économique qui regroupe les activités de prospection et d'exploitation des mines. Elle est une source importante de revenus mais aussi de pollution de l'eau, de l'air, des sols et des écosystèmes. Elle exploite des ressources fossiles ou non-renouvelables et consomme d'importantes quantités d'énergie et parfois d'eau. Elle laisse des séquelles minières, qui selon le Code minier doivent être réduites, traitées et compensées au fur et à mesure de l'exploitation ou dans le cadre de « l'après-mine ».

Les progrès scientifiques et techniques de la géologie et de l'industrie minière permettent d'exploiter plus rapidement des gisements de plus en plus profonds, non sans impacts environnementaux, sociaux et sanitaires directs ou indirects. L'extraction minière est responsable d'un grand nombre de morts non seulement par accident dans les galeries, mais aussi à la suite de la silicose, l'asbestose ou à des cancers dus à la radioactivité. Les déchets, poussières des « stériles » peuvent être à l'origine de pollutions graves différées dans l'espace ou le temps (à partir des métaux lourds notamment). Certaines mines ont engendré un phénomène d'acidification du milieu, dit « drainage minier acide ». Des mines abandonnées sont aussi à l'origine d'effondrement du sol superficiel, et des séismes induits peuvent même être produits par les grandes mines.

Nous débutons notre manuscrit par la fameuse expression du Prof. Dr. Bart qui relate que "Le phosphore est l'étincelle de la vie et est le constructeur de la structure et l'un des principaux éléments de la nourriture des plantes (fertilisant). Sans phosphore, la vie ne peut pas exister" Depuis l'antiquité, les humains ont utilisé leur imagination pour améliorer leur condition de vie. Pour atteindre cet objectif, ils ont fait appel à un ensemble d'objets en vue d'harmoniser leur environnement ; un environnement dans lequel ils sont non seulement parvenus à créer des techniques pour s'assurer une meilleure vie, mais également à découvrir les moyens d'augmenter leur production agricole. Ainsi, pour l'obtention d'une meilleure productivité agricole, des déchets de toutes sortes ont été utilisés pour fertiliser des terres dont les rendements n'étaient pas fameux. Ces engrais naturels ont été, dès l'origine, des moyens importants de production et leur usage n'a cessé de participer au développement de l'espace agricole. Toutefois, si les vertus des déchets naturels remontent à la nuit des temps, il est utile

## CHAPITE I: Généralités

---

de rappeler que l'origine et la spécification des éléments fertilisants n'ont été connues qu'à partir du 19<sup>ème</sup> siècle.

Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle, le phosphate est devenu un élément de première importance dans le domaine agricole puisqu'il constitue un excellent élément nutritif pour les plantes et contribue à l'accélération de leur croissance. Le phosphate est une substance qui fournit du phosphore aux plantes. Et c'est à partir du phosphate qu'on fabrique le phosphore qui est un élément blanc luisant dans l'obscurité, et brûlant en donnant une lumière éclatante.

Les phosphates naturels comprennent plus de 200 espèces minéralogiques, mais les plus répandues appartiennent à la famille de l'apatite. Les minéraux apatitiques se forment facilement dans la nature et sont stables dans un large éventail d'environnements géologiques ; et ce, pour de très longues périodes.

Des concentrations importantes sont rencontrées dans des contextes intrusifs, mais le minéral d'apatite est aussi présent dans les roches éruptives et métamorphiques. Cependant, c'est dans le milieu sédimentaire que de grandes concentrations phosphatées sont connues. Des concentrations sont rencontrées presque dans les sédiments de toutes les périodes géologiques, depuis le Précambrien jusqu'au Cénozoïque.

Les gisements sédimentaires fournissent environ 80 à 90 % de la production mondiale. Ils se trouvent dans des formations d'âges géologiques très différents et présentent une gamme très large de compositions chimiques et de formes physiques. On outre, ils se trouvent souvent en couches épaisses relativement horizontales, et parfois sous forme d'accumulations profondes. Les gisements qui représentent la majeure partie de la production mondiale du phosphate naturel sont localisés entre autres en Chine, Etats-Unis, Russie, Maroc et en Algérie. La plupart des gisements sédimentaires contiennent de la fluorapatite carbonatée appelée francolite (Mc Connell, 1938). Les francolites, ayant une importante substitution du carbonate par le phosphate, sont les plus fortement réactives et sont les plus appropriées pour l'application directe comme engrais ou amendement.

L'Algérie possède des ressources, certaines connues d'autres pas encore reconnues. Parmi ces ressources, les phosphates du djebel Onk sont connus pour être un des plus grands gisements de phosphate dans le monde avec des réserves de 300 millions de tonnes.

# CHAPITE I: Généralités

---

Les phosphates algériens sont issus de dépôts d'âge tertiaire paléocène et éocène. D'un point de vue économique seules les couches de l'éocène inférieur sont intéressantes pour l'exploitation.

Les principaux affleurements des formations phosphatés sont situés principalement dans deux grands domaines distincts :

- Au Nord : les monts de Hodna : dont les gisements de Mzaita, Bordjghedir et Maadid.
- Au sud-Est : les monts des Nememchas Tébéssa : dont les gisements du Djebel Onk, De Dyr et d'El Kouif.

Le gisement de djebel Onk se trouve dans le bassin de Gafsa, a 80 Km au sud de Tébéssa, au sud de la commune de bir El ater. Il est le gisements le plus important et le plus intéressant tant par ces réserves que son mode d'exploitation. L'exploitation se fait à ciel ouvert . Les couches riches en phosphate sont dégagées du massif avec la dynamite, elles sont ensuite emmenées au site de traitement pour le rendre un produit marchand. Les phosphates les plus rentables sont encaissés dans les couches d'âgethanétien d'environ 30 m d'épaisseur.

## **2. But du travail :**

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la préparation du master en « Ressources minérales Géomatériaux et Environnement » a fin de connaitre les techniques d'exploitation minière des phosphates du djebel Onk, les traitements a l'usine, le stockage du produit et des déchets et les impacts et les conséquences environnementales et proposer des solutions pour ces rejets.

## **3. Méthodes de travail :**

Nous nous sommes rendu sur le site de l'exploitation de phosphate à Tebéssa pour faire un stage de 7 jours afin :

- Voir comment se passe l'exploitation.
- Visiter l'usine de traitement et voir les différentes phases par les quelles le produit passe.
- Analyse générale sur les espaces de stockage.

### **4. Situation Géographique:**

#### **4.1.Situation géographique de la région de Tébessa :**

Cette zone est limitée au Nord par la wilaya de Souk Ahras, la wilaya d'El Oued au Sud et les wilayas de Khenchela et d'Oum El Bouaghi à l'Ouest.

Tébessa est à 16 km à vol d'oiseau, mais à 45 km par la route nationale 10, de la frontière algéro-tunisienne. Elle est située à 130 km au sud de Souk Ahras par la route nationale 16, à 233 km d'Annaba, à 200 km de Constantine et à 634 km au sud-est d'Alger.(FIG.I-1)

Géographiquement la wilaya de Tébessa appartient à deux domaines celui du Nord le domaine Atlasique et le domaine Saharien au Sud.

Elle se situe à l'extrême Est de l'Algérie et occupe un emplacement remarquable entre le tell et le Sud des hauts plateaux jusqu'aux régions présahariennes.



**FIG.I-1. PHOTO MONTRANT L'EMPLACEMENT DE LA WILAYA DE TEBESSA. (GOOGLE, 2021)**

## **4.2.Situation géographique de la zone d'étude :**

Le djebel Onk est situé a environ 100 km au sud de la ville de Tébessa a 20 km de la frontière algéro tunisienne, et a proximité de la route qui relie Tébessa a El Oued. Cette région se situe a l'extrême NNE de l'Algérie, a 630 km d'Alger. Cette zone est limitée au Nord par la wilaya de Souk Ahras, la wilaya d'El Oued au Sud et les wilayas de Khenchela et d'Oum El Bouaghi à l'Ouest.(FIG I-2)

Le djebel Onk est un massif montagneux 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. Le massif de djebel Onk forme un ensemble calcaireux de 20 km de longueur.

Les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635 m.

Cinq gisements constituent le massif phosphaté de Djebel Onk qui sont :



### 5.2. Climat et végétation :

Le climat est subaride, caractérisé par un régime continental avec deux saisons très nettes ; un hiver froid et rigoureux et un été où les températures peuvent dépasser 45°C. Les précipitations sont peu abondantes avec une moyenne de 300 mm / an.

L'agriculture était florissante au temps des romains. De nos jours, le sol est sec et peu fertile. La végétation est essentiellement constitués de touffes d'alfa.

Le paysage devient plus accidenté avec quelques pitons et des oueds asséchés qui creusent de nombreux canyons ocre jaune. En poursuivant en direction de Negrine, la végétation se fait de plus en plus rare et le terrain est constitué de terre blanche et de cailloux.

### 6. Historique des travaux d'exploration- exploitation des phosphates de Tébessa :

- **En 1873** : Les phosphates Algériens ont été découverts à Boughari par Ph.Thomas.
- **(1907 à 1908)** : L.Joleau à découvert le gisement de Djebel Onk, des Informations plus complètes ont été présentées par D.Dussert.
- **En 1931** : ces phosphates font l'objet d'une première concession par la compagnie des phosphates de Constantine qui était le principal producteur en Algérie suite à laquelle fut créer la société en 1936.
- **Visse , L.D.(1952)** : Genèse des gites phosphatés du Sud Est Algéro-Tunisien. XIX CongreGéol.intern,Alger.
- **De 1961 à 1963**, des essais de prospection radio-métrique aéroportée sont effectués au dessus du gisement de Djebel Onk.
- **En 1963** : Les phosphates de chaux sédimentaires de la région de djebel Onk (Algérie) S.R.E.M. par Ranchin G.
- **En 1963**, les études géologique et minière précédant l'exploitation du gisement de Djemi Djema sont réalisées par la société SERMI, pour la société de Djebel-Onk (rapports de G.Ranchin, 1963) parallèlement, la société française SOFREMINES (1962 rédige un avant projet d'exploitation du gisement de Kef Essenoun).

## CHAPITE I: Généralités

---

- **En 1965** que débute l'exploitation de Djemi Djema (Société du Djebel-Onk) qui aurait dû relayer, en 1963, la fin de l'exploitation de Djebel-Kouif commencée en 1894.
- **De 1971 à 1974**, les travaux de recherche et de prospection sur les phosphates dans l'Est de l'Algérie qui ont été relancé par la Sonarem, sont suivis par une compagnie de prospection et d'évaluation du district minier de Djebel Onk.
- **De 1985 - 1987**, l'entreprise nationalFerphos a confié à l'EREM des travaux de recherche et d'évaluation des ressources en phosphate de tous les gisements potentiels de la région du Djebel Onk, notamment le gisement de Kef Essenoun a été reconnu en détail par l'EREM (Entreprise de recherche et études minières) au cours de l'année 1986, grâce à 32 sondages et 22 tranchées réalisées dans les dressants de Kef Essenoun.
- **En 1989**, l'EN FERPHOS fait connaître son cahier des charges pour des études dedéveloppement du Complexe minier de Djebel Onk.
- **En 1993**, BRGM (Bureau de recherche géologique et minière) a fourni un rapport d'expertise géologique de tous les gisements de Djebel Onk.

# Chapitre II :

# GEOLOGIE

### **I. Géologie Régional :**

#### **1. Introduction:**

La zone de Tebessa appartient à l'Atlas saharien oriental, précisément aux monts de Mellègue. Il s'agit d'une chaîne montagneuse qui se prolonge jusqu'à l'Atlas Tunisien vers l'Est.

A Tébessa les formations sédimentaires reconnues à l'affleurement sont essentiellement carbonatées, dont l'âge va du Trias au Miocène, avec un recouvrement par des formations superficielles d'âge Quaternaire. Ces travaux sont les résultats des recherches de plusieurs auteurs (Dubourdiou 1949, 1956 et 1959, Durozoy 1956, Blés et Fleury 1970 et J.M.Vila 1980 et 1994).

#### **2. Stratigraphie :**

##### **2.1. Le Trias :**

Les formations triasiques ont une extension limitée au Nord-Est de Bekkaria et sont représentées par le diapir de Djebel Djebissa (Durozoy, 1956 et Zerdazi, 1990 ; in Vila, 1994). Ces formations sont constituées par des marnes bariolées à gypse avec des lentilles de gypse et de sel.

##### **2.2. Le jurassique :**

Les dépôts jurassique sont absents dans la région.

##### **2.3. Le crétacé :**

Ce sont les sidéments les plus anciens au cœur de l'anticlinal de Djebel Onk, ils sont représentés par des calcaires à silex et des intercalations de marnes(5 à 10 m), ils représentent à leur partie supérieure, une surface taraudée, rubifiée, facilement repérable dans la topographie.(BRGM)

##### **➤ Le paléogène :**

C'est la période du paléocène et de l'Eocène. Cette partie représente des sédiments marins représentés par des calcaires, des marnes, des phosphates, des évaporites dans la partie supérieure avec une épaisseur atteinte les 350 mètres.

### **2.4. Le paléocène :**

#### **2.4.1. Le daniens :**

Il est constitué essentiellement de 75 à 100m de calcaire argileux gris clair. Un peu crayeux en petits bancs à surfaces ondulées, alternant avec des marnes grises et contenant une microfaune de globigérines.

#### **2.4.2. Le montien :**

Il est caractérisé par des minéralisations en baryto-céléstine, et des calcaires avec bancs à Ostrea. L'épaisseur du Montien est assez importante est de l'ordre de 100 mètres.

Les premiers bancs de phosphates qui sont apparus se situe dans les deux régions au dessus de la lumachelle à Ostrea, donc c'est au Djebel Kouif comme au Djebel Onk, la base du Thanétien (Chabou Moustafai, 1987).

#### **2.4.3. Le thanétien :** il est subdivisé en deux partie :

##### **1. Le thanétien inférieur :**

Il est caractérisé par des schistes marneux à intercalations irrégulièresde calcaire à gastéropodes, dans la partie supérieure des marnes des intercalations phosphatées apparaissent.

##### **2. Le thanétien supérieur :**

Cette couche est caractérisée par des phosphates de couleur grise foncée ou brune, à nombreux débris organiques de gastéropodes, coprolithes,surmontés par des alternances de dolomies marneuses, dolomies phosphatées.

### **2.5. L'eocène :**

#### **2.5.1. L'yprésien :**

Série de roche carbonatée, repérée directement sur les dépôts du Thanétien et prend une grande extension dans la région de Djebel Onk, d'une épaisseur de 32 mètres, il est constitué de :

**1. l'ypresien inférieur :** Des calcaires a silex avec une couche phosphatée, intercalée (3m).

**2. l'yprésien supérieur :** Calcaire marneux avec des lits phosphatés dans la partie supérieur (4,5 m) ; Calcaire à nodule de silex noir, son -D'épaisseur est de 26 mètres.

### **2.5.2. Le lutétien :**

Elles sont répandues dans la région de Djebel Darmoun(270mètres d'épaisseur). On distingue de bas en haut :

#### **1. Le lutétien inférieur :**

Il est marqué par des changement de faciès ; les calcaires disparaissent et à leur place viennent les marnes blanches, crayeuses, à géodes de quartz et à silex, épaisseur est de 30 mètres ; des calcaires massifs, blanchâtres à nodules de quartz (15 m d'épaisseur) ; du gypse avec des banc de calcaire (150 m d'épaisseur).

#### **2. Le Lutétien supérieur :**

Ce faciès peut être observé dans le Djebel Kenaken. Ce faciès est évaporitique, en bas l'alternance d'argile verte parfois phosphatée et des bancs de calcaire, en haut de l'argile verte avec des bancs de gypse intercalés (5 m). Cette assise est caractérisée par des dépôts lagunaires et des dépôts à caractères détritiques.

**2.6. Le miocène :** Il est constitué de trois formations lithologiques :

#### **1. Le miocène inférieur :**

Il est représenté par des sables fins blancs avec des couches de grés et d'argiles.

#### **2. Le miocène moyen :**

Il est essentiellement argileux, parfois schisteux, avec des intercalations de sables à grains fins et moyens.

#### **3. Le miocène supérieur :**

une série sablo-argilo-conglomératique ;

### **2.7. Le quaternaire :**

Il couvre de vaste surfaces dans la région, est essentiellement représenté par des éboulis de pente, des dépôts sableux ; dépôts éoliens, des graviers et des dépôts alluviaux et fluviaux.

## Chapitre II: GEOLOGIE

|                                    |               |  |  |
|------------------------------------|---------------|--|--|
| QUATERNAIRE                        |               |  | Eboulis et formations alluvionnaires sableuses   |
| MIOCENE                            | SUP<br>(350m) |  | Sables, grès à grains grossiers  |
|                                    | MOY<br>(250m) |  | Argiles, schistes argileux de couleur marron, bronze avec intercalation de sables blancs |
|                                    | INF<br>(100m) |  | Sables fins blanches avec des couches de grès et argiles                                 |
| LUTETIEN                           | SUP<br>(100m) |  | Gypses avec interlits de marnes (évaporites)   |
|                                    | INF<br>(40m)  |  | Calcaires et dolomies avec géodes de quartz  |
| YPRESIEN<br>(70m)                  | SUP           |  | Calcaires et dolomies avec silex   |
|                                    | INF           |  | Calcaires avec lentilles de silex et calcaire phosphaté                                  |
| THANETIEN<br>(80m)                 | SUP           |  | Phosphates pseudoolithiques, coprolithiques, gris et noirs                               |
|                                    | INF           |  | Marnes sombres schistifiées  |
| MONTIEN<br>(100m)                  |               |  | Minéralisation en Baryto-Céladonite<br>Calcaires avec bancs à Ostrea                     |
| DANIEN                             | SUP<br>(80m)  |  | Alternance de calcaires et de marnes claires   |
|                                    | INF<br>(35m)  |  | Argiles noires avec fibre de gypse   |
| MAESTRICHTIEN<br>SUPERIEUR (200 m) |               |  | Calcaires, calcaires noduleux de couleur blanche   |

FIGURE II-1: COLONNE STRATIGRAPHIQUE DE DJEBEL ONK PAR L.D. VISSE (1951)

### 3. La tectonique :

La région est caractérisée par plusieurs phénomènes ou par plusieurs cycles, les plus importants sont :

- Un plissement des séries sédimentaires,
- La mise en place des fossés d'effondrements,
- Un diapirisme triasique,
- Une forte subsidence.

La région de Djebel Onk appartient à l'extrémité orientale de l'atlas Saharien. La série supérieure de l'éocène de bassin de Djebel Onk-Gafsa métralaoui est structurée sur une suite d'anticlinaux et de synclinaux dissymétriques, généralement faillés dans leurs flancs, d'axe le plus souvent SW-NE et décrochés par des accidents transverses N120° à N140°E.

Les anticlinaux de Djebel Onk, Djemi Djema et Oued Betita sont localisés à la bordure de la flexure sud atlasique qui correspond à une zone d'affrontement entre le territoire atlasique mobile et la plateforme Saharienne stable.

Trois phases tectoniques d'amplitudes très inégales ont marqué de leurs empreintes la région considérée :

#### ➤ **Tectonique syn-sédimentaire :**

Une phase compressive NW-SE, contemporaine à la sédimentation paléogène, s'exprime par des ondulations et des failles synsédimentaires. Cette tectonique précoce induit des lacunes de sédimentation dans la série paléocène-éocène et a conduit à l'édification des dispositifs paléogéographiques en hauts fonds et sillons qui vont contrôler la sédimentation des phosphates. Ces déformations précoces peuvent être liées à la montée diapirique des évaporites triasiques, notamment au Paléocène-Eocène.

#### ➤ **Tectonique post-éocène moyen et anté-miocène :**

Contemporaine à l'émergence de la série au Lutétien supérieur, phase majeure du plissement des Aurès et des déformations distensives transverses (N120° à N150°) induisant un début de déstructuration de la série crétacé supérieur à éocène en petits horsts et grabens allongés suivant la direction N170°E qui vont être affectés par la pénétration et l'érosion différentielle anté-miocène. Ces plissements sont, en majorité, antérieurs aux dépôts des sables miocènes. C'est à la faveur de cette phase tectonique qu'apparût l'anticlinal de Djebel Onk. (Mezghache et al, 2000).

### ➤ Tectonique tardi-miocène, post-burdigalienne, à pliocène-pléistocène :

C'est la phase majeure de plissement de l'Atlas Tunisien. Les plissements de la série crétacée supérieure-paléocène-éocène et miocène, en grandes structures

Antiformes et synformes, jouent en horst et grabens dans les structures antérieures; ils forment vers le Sud et sur le flanc inverse des méga-plis de Djebel Onk et Djemi Djema. Cette tectogenèse est responsable de la structure actuelle de la région du Djebel Onk.

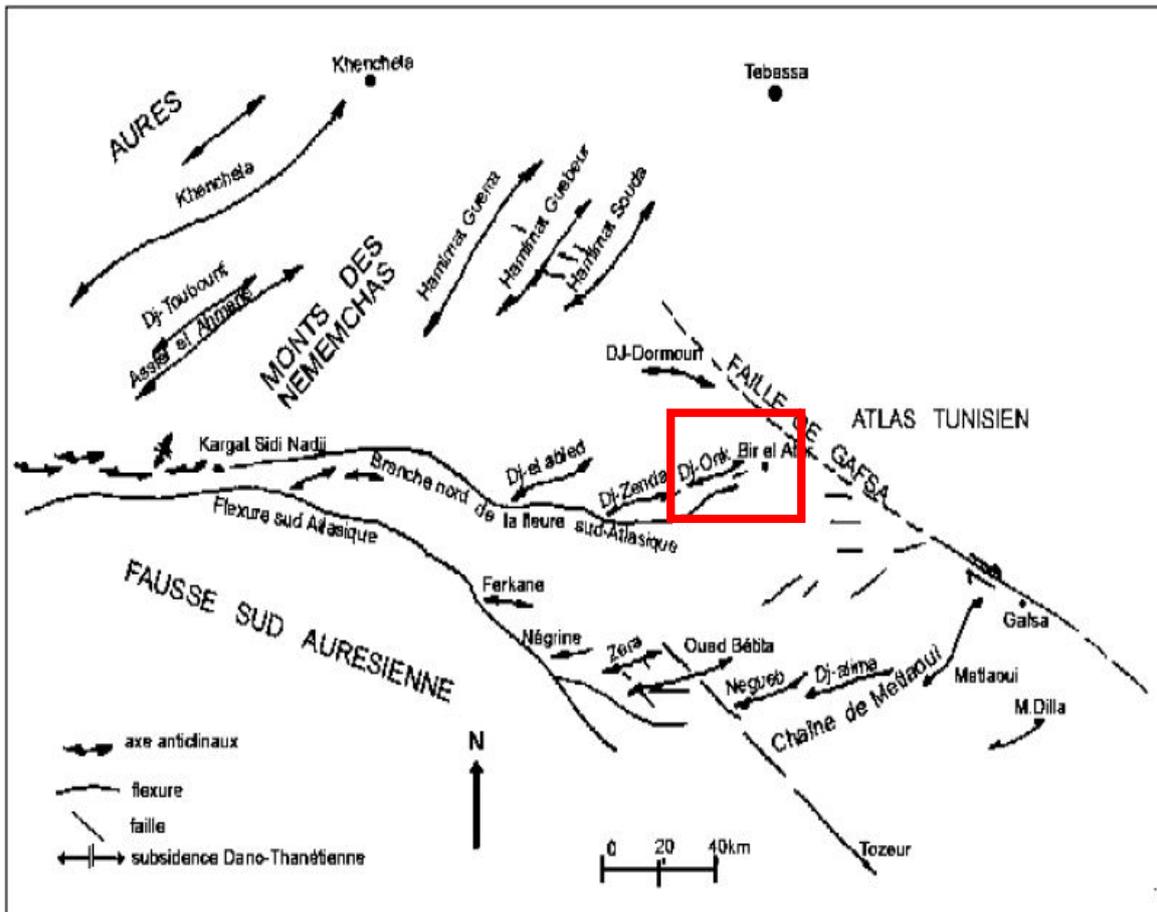


FIGURE II-2: CARTE STRUCTURALE DE LA REGION DE DJEBEL ONK A L'INTERIEUR DU BASSIN GAFSA-METLAOUI-ONK (AISSAOUI 1984).

### **II. Géologie Locale :**

#### **1. Introduction :**

Les âges des sédiments les plus anciens dans la région de Djebel Onk appartiennent au Crétacé, Chabou Moustafai en 1987 a décrit la coupe litho stratigraphique. Cette série marine est d'environ 500 m d'épaisseur. Elle est recouverte en discordance par une épaisse série sabloargileuse continentale d'âge Miocène, puis Quaternaire comblant les structures synclinales et fossilisant les séries d'âge anti-miocènes (KECHICHED Rabah 2011).

#### **2. Stratigraphie :**

##### **2.1. Le crétacé :**

Ce sont les sédiments les plus anciens au cœur de l'anticlinal du Djebel Onk. Tectoniquement, ces formations sont très accidentées. Seuls les dépôts du Maestrichtien y affleurent.

##### **2.1.1. Le maestrichtien :**

Les sédiments de cet âge sont représentés par des calcaires blancs massifs avec des intercalations marneuses au cœur de l'anticlinal de Djebel Onk. Le sommet est marqué par une surface ferruginisée et taraudée.

##### **2.2. Le paléocène :**

Il est représenté par des sédiments marins assez épais (350 m).

##### **2.2.1. Le danien :**

Le Danien est subdivisé lithologiquement en deux sous étages : inférieur et supérieur ;

##### **a. Le danien inférieur :**

Il est représenté par des argiles marneuses et schisteuses, de couleur grise foncée au brun vert, intercalé par des marnes dures et irrégulières. L'épaisseur du Danien inférieur est de 30 à 40 m.

##### **b. Le danien supérieur:**

Il est formé par des calcaires durs blancs, très fins souvent à cassures conchoïdales, intercalées de marnes, argileuses et schisteuses. L'épaisseur varie d'une dizaine de centimètre à un mètre.

##### **2.2.2. Le montien :**

Il est représenté par des calcaires détritiques à lumachelles avec des intercalations de marnes et de dolomie ainsi qu'une faible quantité de silex rencontrée. Il renferme

de nombreux niveaux à huitres de différentes couleurs. L'épaisseur moyenne est de 100 m.

### **2.2.3. Le thanétien :**

C'est l'horizon porteur de la minéralisation phosphatée principale. Il se subdivise en deux sous étages ;

#### **a. Le thanétien inférieur:**

Le Thanétien inférieur est représenté par des marnes grises foncées à noires schisteuses. Dans la partie inférieure, on note la présence des conglomérats et de minces lits phosphatés ainsi que deux niveaux de marnes à faunes. Au sommet apparaissent des intercalations phosphatées atteignant jusqu'à 2m, surmontées par des calcaires et des marnes à gros gastéropodes. La puissance varie de 30 à 40 m.

#### **b. Le thanétien supérieur:**

C'est la couche exploitable dans les gisements de Djebel Onk. Il débute par un niveau dolomitique à gastéropode, la couche phosphatée est de 30m d'épaisseur en moyenne. Cette couche d'âge Thanétien supérieur se caractérise par des variations au terme de l'épaisseur d'un gisement à l'autre dans le bassin de Djebel Onk, notant à titre d'exemple; dans la zone du Djemi-Djema où la couche de phosphate est de l'environ 30 m d'épaisseur, situé entre une série de marnes noires feuilletées au mur, et une formation de dolomie, puis de calcaire à silex en toit. Dans la zone de Djebel Onk Nord, le faisceau phosphaté est moins épais (17 m, au maximum), et il se réduit progressivement vers l'ouest, jusqu'à disparaître complètement (biseau stratigraphique) (Prian et Cortiel, 1993).

### **2.3. L'eocène :**

#### **2.3.1. L'yprésien :**

Il repose directement sur les dépôts du Thanétien et il a une épaisseur de 32m, on note :

##### **a. L'yprésien inférieur:**

Il est représenté par des dolomies et calcaires dolomitiques. Des intercalations de phosphates très dolomitiques sont bien observées, on note la présence de nombreux débris de silex noirs.

##### **b. L'yprésien supérieur:**

Il est constitué par une alternance de calcaires, calcaires dolomitiques et marnes.

#### **2.3.2. Le lutétien :**

Les formations de cet étage recouvrent en concordance les séries yprésiennes. Elles sont répandues dans la région de Djebel-Onk (270 m d'épaisseur). On distingue de bas en haut ;

### **a. Le lutétien inférieur:**

Il est caractérisé par une diminution remarquable des calcaires qui sont remplacés par les marnes blanches crayeuses. On note l'existence de géodes de quartz et de nodules de silex, avec une faune caractéristique (HemitherSitéaMoracano). Sa puissance varie de 40 à 50 m.

### **b. Le lutétien supérieur:**

Ce faciès est évaporitique; il est constitué de gypse et d'argile verdâtre, argile phosphatée verte et bancs de calcaire. A la base, on distingue l'argile verte phosphatée et des bancs de calcaire d'une épaisseur de 10 m. Au sommet, des argiles vertes avec banc de gypse intercalé. Son épaisseur est de 65 m. La faune caractéristique est OstréaMulticostata et Cardia Placunoides.

### **2.4. Le miocène :**

Il est représenté par un complexe de roches terrigènes, de conglomérats, d'argiles, de sables et de schistes. On distingue trois formations lithologiques :

#### **2.4.1. Le miocène inférieur :**

Il est représenté essentiellement par des conglomérats, des sables avec des lits minces d'argile siliceuse. La teinte est clair, grise blanchâtre. Sa puissance est de 200 m.

#### **2.4.2. Le miocène moyen :**

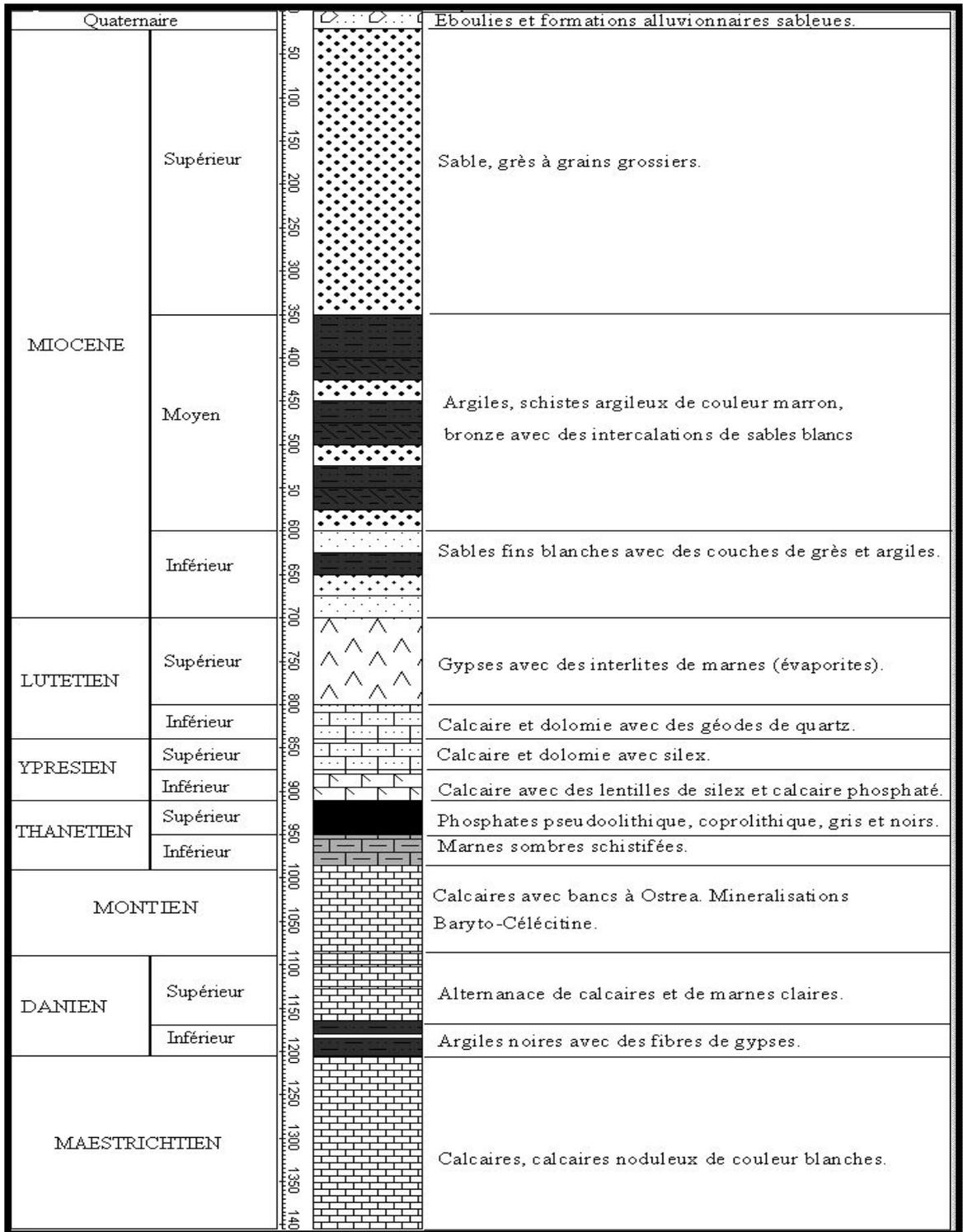
Il est essentiellement argileux de couleur marron, parfois schisteux, avec des intercalations de sables à grains fins et moyens. Sa puissance atteint 250 m.

#### **2.4.3. Le miocène supérieur :**

C'est une série sablo-argilo-conglomératique. Sa puissance atteint 350 m.

### **2.5. Le quaternaire :**

Les formations quaternaires couvrent de vastes surfaces dans la région. Elles sont essentiellement représentées par des éboulis de pente, de dépôts sableux, des graviers, de dépôts éoliens, alluviaux et fluviaux



**Fig. II.3: Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk – Algérie orientale – (Cielensky et Benchernine, 1987).**

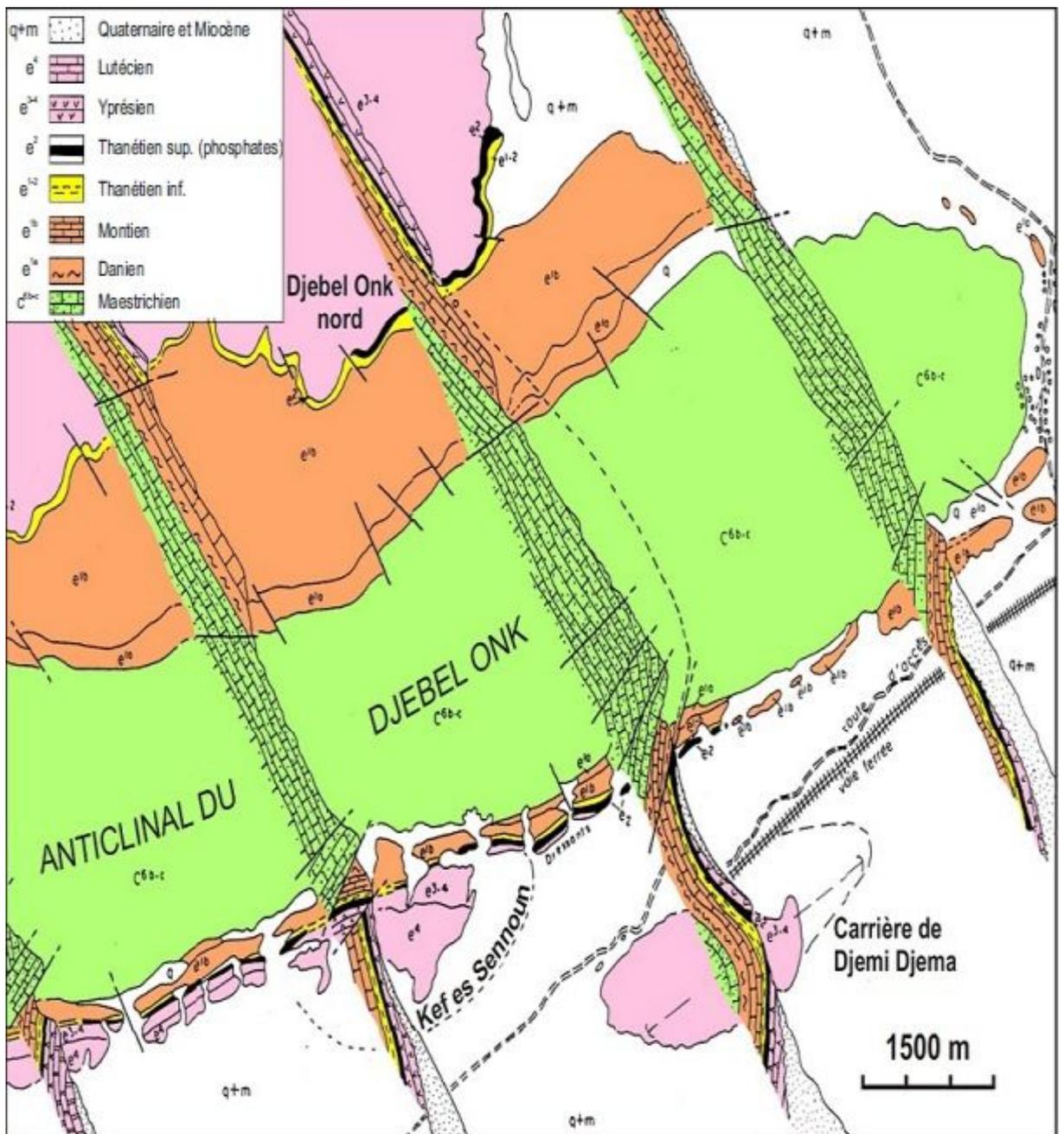


FIG II.4.coupes stratigraphiques et structurales des flans Nord et Sud de Djebel Onk(CIELNSKY et al, 1988)

### III. La Géologie :

La phosphatogenèse du Djebel Onk est étudiée à plusieurs niveaux d'échelles d'environnements ;

- L'environnement général du milieu de formation des phosphates consiste en une plate forme faiblement pentée et directement ouverte aux influences océaniques, indépendamment des conditions paléobathymétriques.

- L'environnement local du milieu de formation des phosphates consiste en une paragenèse minérale authigène, siliceuse et silicatée associée aux phosphates, ces phosphates sont d'origine biogénique.

- Le micro-environnement, se traduisant par la présence du soufre, de matière organique et de micro organismes permet de situer le confinement nécessaire à la formation du phosphate à "interface eau sédiment ou dans la zone à oxygène minimum".

Des éléments chimiques nécessaires à la néogènes associés aux phosphates, pourrait avoir une origine volcanique, aussi comme d'autres hypothèses qui posent le problème de la possible influence de causes géodynamiques globales, comme le rôle des dorsales océaniques dans la formation des gisements de phosphates sédimentaires en milieu marin.

Ce modèle confronté aux modèles classiques de phosphatogenèse, se différencie : par l'absence des pièges morphologiques habituellement invoqués pour expliquer le confinement nécessaire à la genèse du phosphate ; par la distinction qui a pu être faite entre les milieux de formation in situ du phosphate et des milieux de remaniement. (CHABOU Moustafa, 1987).

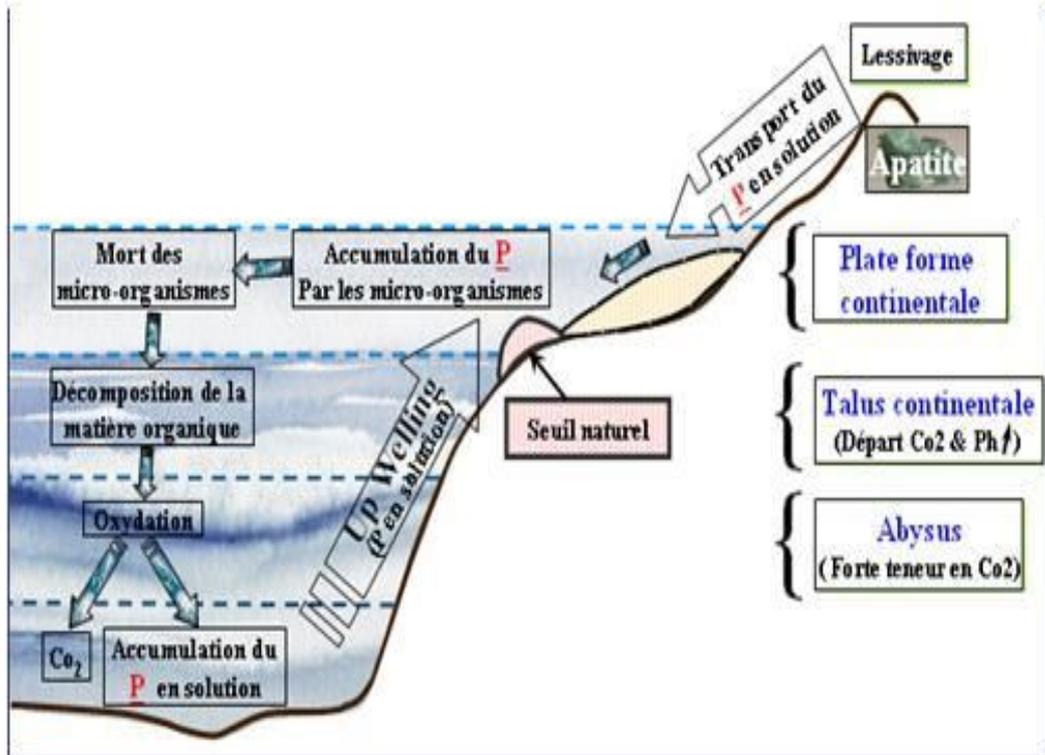


FIGURE II.3. SCHEMA DE LA PHOSPHATOGENESE SELON KAZAKOV A.V.(1930)

# CHAPITRE III : EXPLOITATION ET TRAITEMENT

### **I. L'exploitation du gisement de Djebel Onk :**

#### **1. Introduction :**

Durant notre stage de terrain pour la réalisation de ce présent mémoire, nous avons observé le déroulement de l'exploitation du gisement du Djebel Onk.

Dans le cas de Djebel Onk, la méthode d'exploitation utilisée est à ciel ouvert par gradins, ils utilisent plusieurs méthodes d'extraction, d'abord par emploi d'explosifs, puis transporté vers les unités de traitements.

#### **2. La méthode d'exploitation :**

##### **2.1. Introduction :**

Une méthode d'exploitation est une succession de réalisation des travaux d'enlèvement des stériles et du minerai dans un ordre bien déterminé.

L'exploitation à ciel ouvert consiste à enlever la couche de la roche de recouvrement (stérile) pour accéder au gisement à partir du jour, cette opération s'appelle la découverte.

Les travaux de découverte et d'extraction se caractérisent par l'avancement des chantiers et des fronts de travail dans l'espace et le temps, ainsi que par le type et les paramètres des engins utilisés. Le déplacement des chantiers et des fronts de travail définissent le système d'exploitation.

##### **2.2. La notion d'une carrière :**

La carrière est une installation industrielle complète, un lieu d'extraction, avec les machines servant à traiter la roche extraite, des hangars, des ateliers de traitement, et des zones de stockage.

La mine de Djebel Onk est une mine à ciel ouvert, constituée de plusieurs gradins formant une fosse. Le facteur de recouvrement est de un pour deux.



**FIG III-1 : PHOTO MONTRANT LA CARRIERE DE DJEBEL ONK**

### **2.3. Les opérations minières :**

L'exploitation de la mine menée par le siège minier fait appel à un ensemble de processus dits « opérations minières » qu'il faut utiliser pour réaliser le programme de production. La chaîne de production minière est la suivante:

#### **1. Le terrassement :**

Le terrassement est une opération indispensable dans toute étape de l'exploitation minière. Cette opération assure tout aménagement du territoire dans la mine :

- L'ouverture des pistes et les descenderies pour permettre aux engins l'accès à la mine et les déplacements au sein de celle-ci.
- Les plates formes : les engins de foration et de chargement ne peuvent exécutés leurs travaux que sur des plates formes.
- L'élaboration des verses : la réduction des trajets de roulage et la gestion du territoire exige la création des digues pour verser du stérile et autres pour stocker du minerai.
- Le nettoyage et le contrôle de ces travaux.

Pour se faire on utilise des engins spéciaux.

Les travaux de terrassement dans la mine occupent une place particulière grâce à leur présence en tout étape de l'exploitation minière. Ce qui fait que les engins de terrassement ont une influence directe sur la productivité des autres engins et par suite sur la production de la mine.

### **2. La foration :**

Les trous forés, appelés trous de mine, ont pour but de préparer l'abattage des roches dans l'autre sens , La foration a pour but de préparer une portion du terrain (gradin ou volée) d'une mine, pour être chargés en explosif, selon des mailles et des profondeurs bien précises, afin de fragmenter les roches de la portion visée.

Cette opération est totalement mécanisée, des foreuses de plusieurs tailles et formes sont utilisées selon les besoins et les exigences techniques et géotechniques.

Le type de forage utilisé a Djebel Onk est le forage roto percutant permettant de forer des trous verticaux et inclinés de diamètres 105 à 165 mm et de profondeur allant jusqu'à 20 m.



**FIG III-2 : PHOTO MONTRANT UNE FORREUSE**

### 3. L'abattage :

L'abattage est une opération déterminante dans la mine. Cette opération conditionne le déroulement des autres opérations. On utilise des explosifs L'énergie générée par un explosif est utilisée dans les mines pour fragmenter les roches, on utilise différents types d'explosifs : les dynamites, les agents explosifs, les suspensions et les gels aqueux et les émulsions.

Le diamètre, la profondeur et l'inclinaison du trou de forage, le type d'explosif, le modèle de trous de mine sont des facteurs qu'on prend en considération pour la planification de l'abattage. Le but est de répandre les explosifs dans la masse rocheuse de telle sorte que la rupture de la roche génère le résultat souhaité, que la roche abattue soit d'une taille facile à transporter, et que la procédure n'entraîne que des effets négatifs minimes sur l'environnement.

### 4. Le chargement :

Une fois la roche fracturée par forage et abattage, le processus de chargement commence, charger les matériaux abattus en camions afin de les benner en verses ou aux concasseurs.

Les systèmes de chargement miniers peuvent généralement être classés comme continus ou cycliques.

➤ Les systèmes d'excavation en continu, c.-à-d. les opérations élémentaires d'un cycle complet d'excavation et de chargement y compris le déplacement sont réalisées simultanément. Les matériaux qu'on utilise sont : les excavatrices à godets, les excavatrices à chaîne à godets ou les dragues, couramment utilisées pour l'extraction du charbon.

➤ Les systèmes d'excavation cycliques c'est à dire les opérations élémentaires d'un cycle complet d'excavation et de chargement sont réalisées d'une manière successive. Les engins qu'on utilise dans cette méthode sont : les pelles mécaniques, les pelles hydrauliques, les draglines, et les chargeuses sur pneus.



**FIGURE III-3: PHOTO MONTRANT UNE PELLE**

### **5. Le transport :**

Les engins de roulage dans la mine ont une importance primordiale, se sont ceux qui font la production, ils transportent du minerai et du stérile de la mine, respectivement, aux concasseurs et aux verses à stériles.

Pour charger les produits abattus dans les camions, les engins à soumettre sont : pelles, chargeuses et camions. Ce dernier c'est-à-dire transport par camion est le principal facteur des coûts d'exploitation, représentant 50% à 60% des coûts globaux.



**FIGURE III-4 : PHOTO MONTRANT UN CAMION**

## **II. Traitement du minerai de Djebel Onk :**

Le minerai doit passer par deux étapes pour qu'il soit un produit marchand exportable, qui sont :

- La première étape est la préparation mécanique, qui comporte : concassage, broyage, criblage.
- La deuxième étape comprend le traitement des minerais de phosphate proprement dite, dans cette étape on note qu'il existe deux chaînes de traitement l'une à voie sèche, l'autre à voie humide.

### **1.Préparation mécanique :**

Cette étape consiste à réduire les dimensions des blocs de minerai afin de libérer le minéral utile de la gangue. La préparation mécanique comprend les trois opérations suivantes : Concassage, broyage et à la fin criblage.

#### **1.1. Concassage :**

Le but de cette opération est de réduire les dimensions des blocs de tout venant à des dimensions de 1 mètres jusqu'à une granulométrie inférieure à 200mm. Il existe deux concasseurs :

- Concasseur à cône giratoire "BABITLESS" de capacité de 1000Tonnes par heure.
- Concasseur à percussion "HAZEMAG" muni d'un système de scalpage de capacité de 1200 Tonne par heure.



**FIG III-5 : L'ETAPE DE CONCASSAGE DES PHOSPHATES**

### **1.2. Broyage :**

Cette opération consiste à réduire la taille du produit concassé jusqu'à une dimension de 20 mm, un taux de réduction de dix. Cette étape comprend trois broyeurs à marteaux articulés "WEDAG" d'une capacité de production de 300 Tonnes par heur par broyeur. Après cette étape le produit est envoyé dans les ateliers de criblage.

### **1.3. Criblage :**

Cette dernière opération permet d'éliminer le produit dont la granulométrie est supérieur 15 mm au moyen de 03 cribles vibrants à résonances « WEDAG » d'une capacité de 300 tonnes /heure et 02 cribles vibrants inclinés « HAZEMAG » d'une capacité de 600 t/h crible et une ouverture de 10 mm.

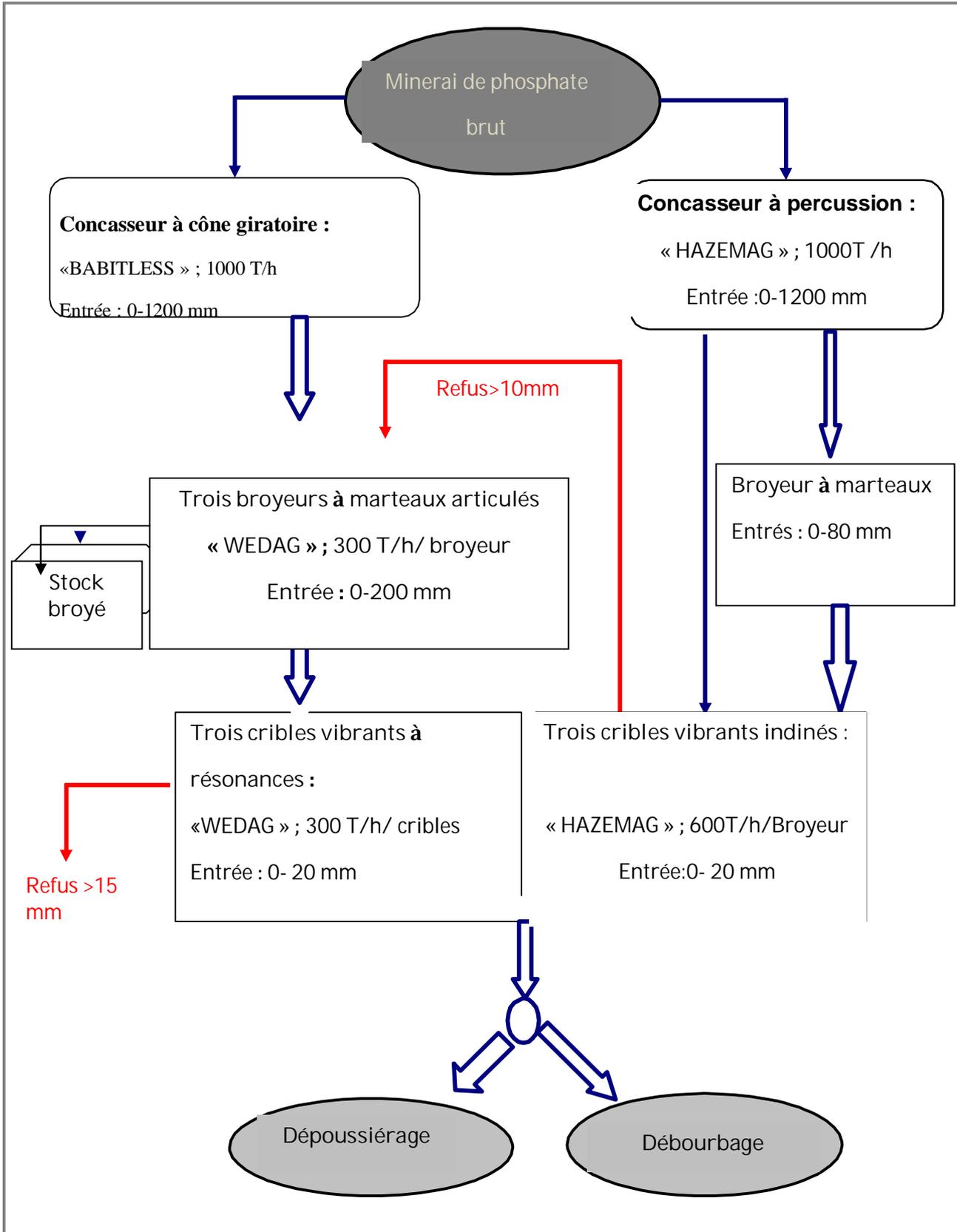


FIG.III-6 :SCHEMA TECHNOLOGIQUE DE LA PREPARATION MECANIQUE DU MINERAL.

### 2. LE TRAITEMENT :

Il existe deux méthodes de traitement du minerai ; la première méthode est **par voie humide**, elle est moins coûteuse. La deuxième est **par voie sèche**, cette méthode donne un produit marchand plus concentré.

Mais le minerai le plus demandé c'est celui traité par voie humide car le pourcentage de concentration demandé par le marché correspond à celui qu'offre cette méthode.

#### 2.1. Traitement par voie humide :

Cette opération s'effectue dans les ateliers de calcination (DK1), elle permet d'enrichir le minerai à une teneur au tricalcique de (69 à 77%) et (73 à 77%) TPL.

Cette opération comporte quatre étapes :

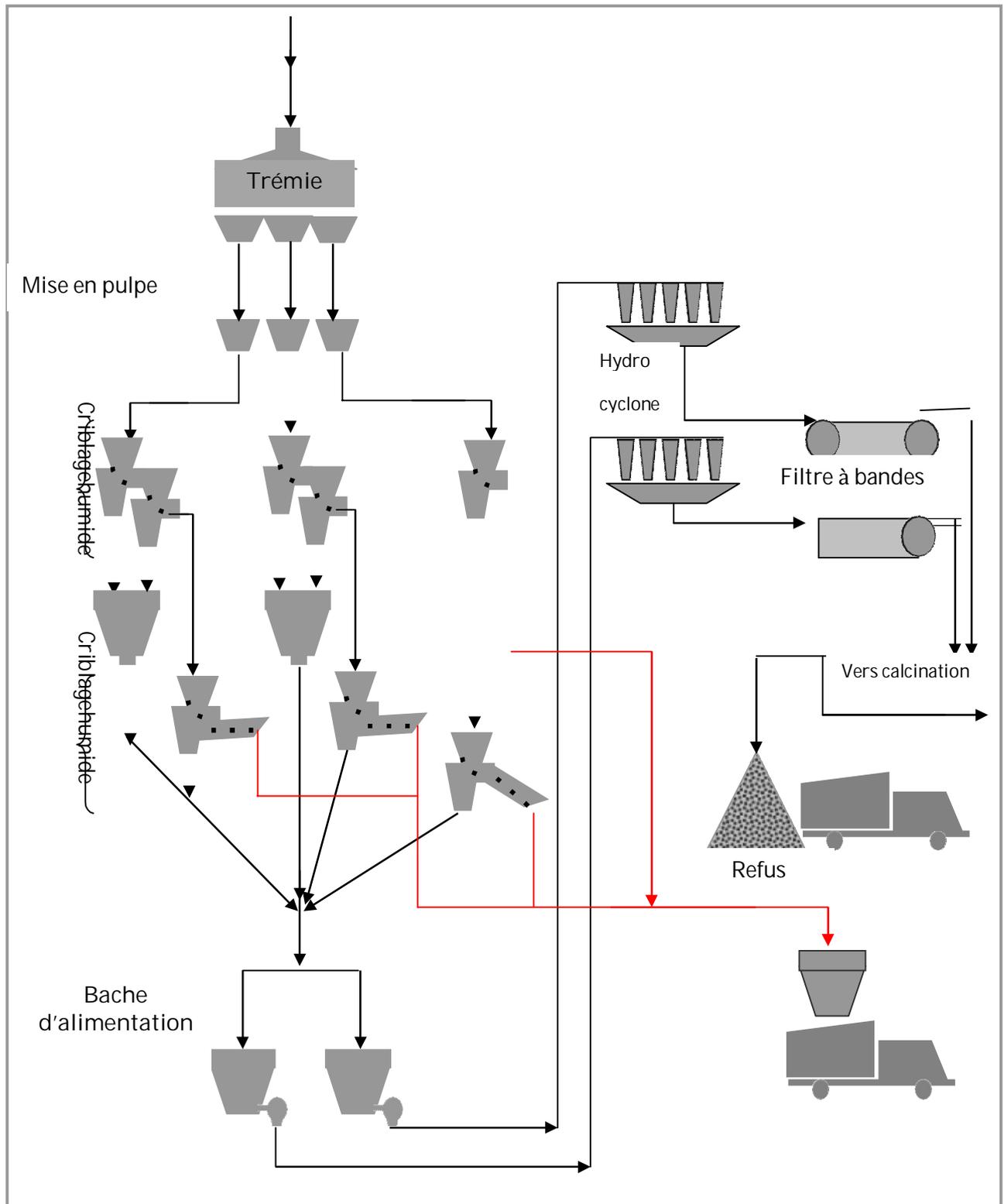
- **Débouillage**
- **Calcination**
- **Lavage**
- **Séchage**

##### 2.1.1. Débouillage :

Le but de cette opération pour éliminer les argiles, les silicates, les matières organiques ainsi que les sels. Cette étape de débouillage passe par plusieurs étapes suivantes : unemiseenpulpe,criblagehumidesur des grillescourbes,classification,hydrocyclonageet unefiltration.

Les passants au crible de dimensions inférieures à 15 mm sont mis en pulpe avec de l'eau dans un rapport solide/liquide égal à 2/3, alimentent les grilles courbes qui procèdent à une coupure de 1,25 mm.

La tranche granulométrie intéressante du minerai se situe entre 80 et 100 microns. Le passant des grilles courbes est séparé par les hydro cyclones à mouvement hélicoïdal de rotation pour l'élimination de la tranche 0 à 80 microns constituée par les éléments très pauvres. Les fines particules très pauvres en phosphate seront acheminées vers l'épaississeur et la qualité noble est essorée aux moyennes essoreuses le produit débouillé et essoré titrant de (63 à 64.5 %) TPL est expédié vers l'atelier de lavage.



**FIG III-7 : SHEMA DE DEBOURBAGE (VOIE HUMIDE).**

### 2.1.2. Calcination :

La calcination est un traitement thermique, consiste à faire passer le minerai de phosphate humide et criblé dans un calcinateur rotatif incliné, sous une grande température.

Elle comprend trois phases:

- Le séchage et le réchauffement du minerai ;
- La calcination proprement dite effectuée par des réacteurs à fluidisation, le minerai est porté à une température de 900 °c
- Le refroidissement.

Le but de cette phase est d'enrichir le minerai en appliquant une température suffisamment élevée de l'ordre de 800 à 960°C, pour permettre l'élimination de l'eau d'humidité, l'eau de cristallisation, l'eau de constitution, de la matière organique, du CO<sub>2</sub>, des carbonates.

### 2.1.3. Lavage :

Le but de cette étape est d'éliminer les sels alcalins et la chaux, soit par dissolution ou par mise en suspension dans l'eau, et ce sans apport de réactifs chimiques.

Cette étape est divisée en trois phases :

- Lavage de tête
- Boue pulsées
- Lavage des rejets

Ces opérations sont réalisées par des hydro cyclones, des bacs pulsés et colonnes pulsés.

### 2.1.4. Séchage :

Le minerai lavé, essoré est un produit semi fini et humide, qui nécessite une étape de déshydratation jusqu'à l'obtention d'un produit marchand d'une humidité de 1%.

## 2.2. Traitement par voie sèche (Dépoussiérage) :

Ce procédé de traitement dit dépoussiérage est un procédé physico-mécanique d'enrichissement du minerai de phosphate pour l'obtention d'un concentré moyen de 29 à 30% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, basé essentiellement sur la décarbonation par impact et aménagement de la granulométrie.

Les opérations de préparation et d'enrichissement que le produit subit :

### 1. Le séchage du minerai criblé en lit fluidisé :

Le but de cette opération est d'éliminer une partie des solides les plus fines en les entraînant avec les gaz de fluidisation. Il consiste deux fours sécheurs, ils sont divisés en deux compartiments:

- Combustion et dilution.
- Séchage par fluidisation.

### **2. Criblage à 2 mm :**

Le but est d'éliminer le produit dont la dimension est supérieure à 2mm au moyen des cribles équipés d'un tamis de 2mm, permet le rejet des gros supérieurs à 2mm qui sont du calcaire, les moins de 2mm sont admis et acheminés vers les broyeurs (rendement poids 88%).

### **3. Broyage à attrition :**

Pour libérer une partie de l'exo-gangue aux grains de phosphate, et permettre un meilleur enrichissement final par séparation granulométrique par des broyeurs équipés d'un rotor sur portés des marteaux et chambre de broyeur.

### **4. Sélection par une turbo sélection ventilée :**

Cette opération a pour but d'enrichissement du produit en éliminant les fines particules moins de 80 microns à l'aide des ventilateurs.

### **5. Criblage à 0.8 mm :**

Le but est d'enlever les particules grenue encore riche en exo-gangue.

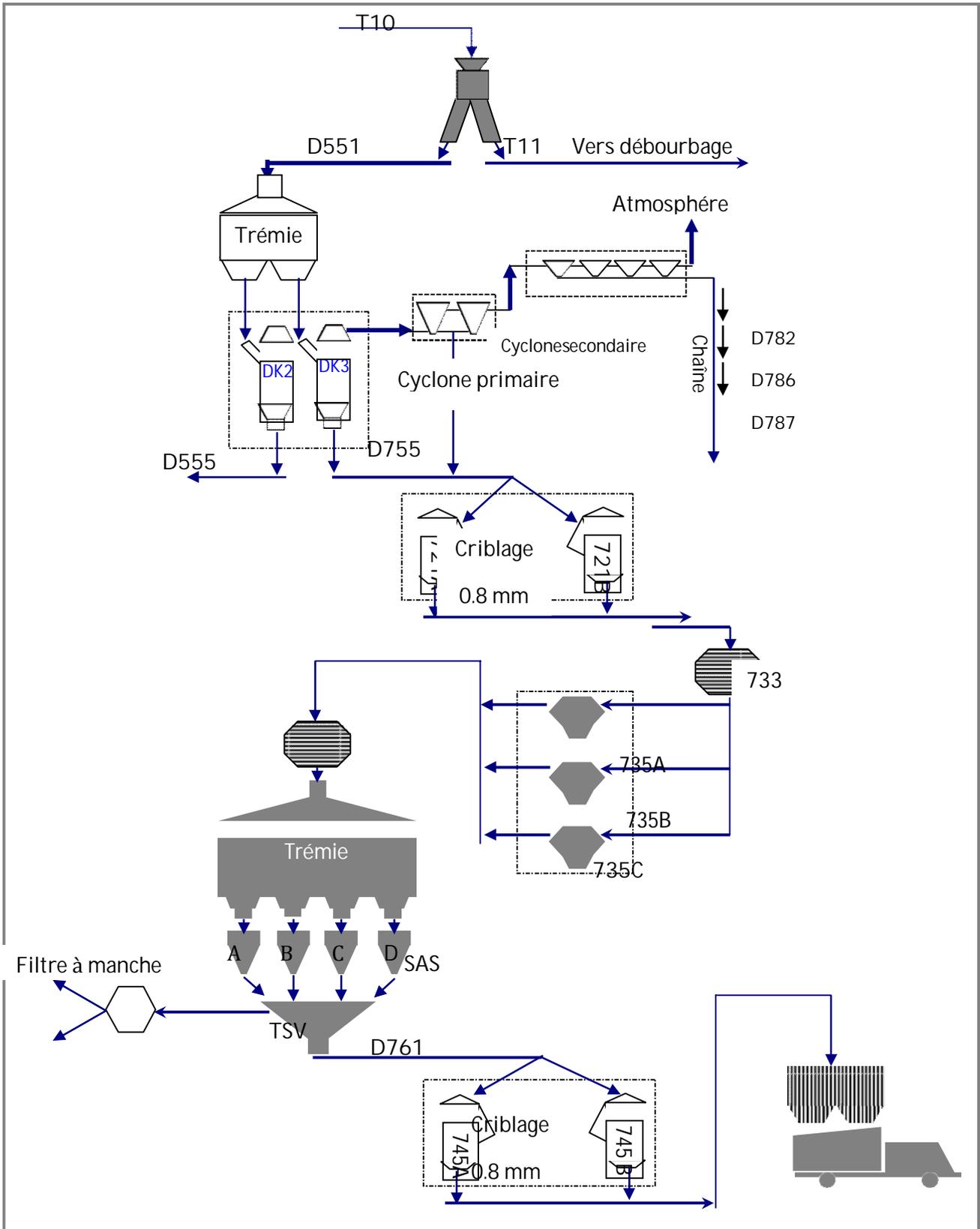


FIG III-8 : SCHEMA DE DEPOUSSIERAGE.

# CHAPITRE IV : ENVIRONNEMENT ET VALORISATION

## 1. Introduction :

Les phosphates les plus répandus appartiennent à la famille de l'apatite, ces phosphates se forment facilement, et dans différents types d'environnement géologiques et pendant de longues périodes.

L'apatite se trouve dans des roches éruptives et métamorphiques, aussi dans des roches sédimentaires avec des concentrations importantes.

La protection de l'environnement est d'une importance capitale, la dernière étape est consacrée à la remise en état des lieux, le problème de cette étape est la quantité importante et les valeurs considérables des terrils issus lors de l'exploration et de traitement du minerai.

Le but de cette étude est d'apporter une solution pour réutiliser ces volumes c'est-à-dire de les rendre utilisables, par pour les éliminer.

La valorisation de ces montagnes de poussières appelés « fines » et « schlamms » est dans le but de diminuer les dégâts affligés à l'environnement de manière économique.

La valorisation des rejets peut varier selon plusieurs facteurs dans notre cas les poussières possèdent encore un certain pourcentage de concentration en phosphate qui pourrait être extrait par des meilleures méthodes de traitement. De plus, ces phosphates recèlent des éléments traces tel que le cadmium, uranium, et pourrait aussi être une source de terres rares.

## 2. Chimie des phosphates :

Un phosphate est un composé dérivé de l'acide phosphorique  $H_3PO_4$  par perte ou substitution d'un ou plusieurs de ces hydrogènes, par d'autres atomes ou groupes fonctionnels.

Les principales sources de phosphates sont des roches sédimentaires contenant des fossiles d'organismes vivants qui sont composés à 80% d'apatite de formulation générale :  $Me_{10}(XO_4)_6Y_2$ .

La fluorite-apatite de la famille chimique  $(Ca_5(PO_4)_3F)$ , est la plus commune, mais il existe bien d'autres dans lesquelles, notamment le chlore, les radicaux OH ou  $CO_3$  peuvent se substituer au fluor, tandis que le phosphore cède parfois la place à l'arsenic ou au Vanadium.

Les phosphates sont associés à d'autres éléments, ces derniers sont divisés en deux groupes principaux : éléments majeurs et éléments en traces.

### 2.1. LES ELEMENTS MAJEURS :

Les phosphates contiennent les éléments majeurs (oxydes) suivants: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, F, Cl et H<sub>2</sub>O. Les analyses ont permis de révéler les remarques suivantes (Slansky, 1980) :

Les teneurs en SiO<sub>2</sub> sont essentiellement dues à la présence de la silice ou des silicates et surtout les argiles comme la glauconie; Dans une fluorapatite Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>F<sub>2</sub>, le rapport CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est égal à 1,31. Il est supérieur à 1,31 dans les apatites carbonatées due à la présence de calcite et de dolomie, ou à une substitution de PO<sub>4</sub> par CO<sub>3</sub>. Une valeur inférieure à 1,3 dénote la présence de minéraux phosphatés différents, alumineux ou alumineux calciques.

Le fluor peut être exprimé, indépendamment de l'apatite dans les phosphatites, sous forme de fluorine. Dans la plupart de cas, le fluor est lié à l'apatite, le rapport F/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> qui caractérise donc ce minéral, varie entre 0,08 à 0,12, atteignant parfois 0,13 voire 0,14;

Les apatites sédimentaires sont habituellement très pauvres en Cl. Lorsque la teneur en cet élément est élevée, il s'agit en général de concentrations secondaires indépendantes du réseau de l'apatite, réductibles par lavage à l'eau douce. Des analyses chimiques sur des échantillons de phosphates d'âges variés montrent une teneur en Cl variant de 0,013 à 0,67 %.

Le soufre associé aux phosphatites peut être inclus dans les sulfures ou sulfates. Les sulfures sont présentés par la pyrite qui peut être rencontrée soit dans les l'exogangue, soit dans l'endogangue. Sa présence est caractérisée par des teneurs en Fer. Les sulfates sont présentés par le gypse et de la barytine ou la Célestine. (Sassi, 1974) a indiqué que le rapport pondéral SO<sub>3</sub>/PO<sub>4</sub> peut atteindre 0,12 dans les francolites du bassin de Gafsa (Tunisie). Les teneurs en Al et Fe, sont assez importants lors de l'utilisation des minerais de phosphates, car ils sont surtout liés à la présence d'argiles, de sulfure, d'hydroxydes.

## Chapitre IV : Environnement

---

### 2.2. LES ELEMENTS EN TRACES :

TABLEAU IV-1: CONCENTRATION DES ELEMENTS EN TRACES DANS LES PHOSPHATES DU DJEBEL ONK(SOMIPHOS)

| <b>Eléments en traces</b> | <b>Concentration</b> |
|---------------------------|----------------------|
| Cd                        | 9 PPM                |
| Pb                        | 7 PPM                |
| Hg                        | 5 PPM                |
| Ni                        | 25 PPM               |
| Cu                        | 27 PPM               |
| Zn                        | 180 PPM              |
| As                        | 10 PPM               |
| Sb                        | 10 PPM               |
| Bi                        | 20 PPM               |
| U                         | 38 PPM               |

Ce tableau montre des concentrations des éléments en traces dans les phosphates du djebel Onk. Ces éléments peuvent provoquer des désordres importants lorsqu'ils sont apportés à des taux trop élevés dans l'alimentation humaine.

### 2.3. LES ELEMENTS DANGEREUX DANS LE PHOSPHATE NATUREL :

la prise de conscience du problème des polluants minéraux a conduit les pouvoirs publics à mettre en place des législations de plus en plus sévères vis-à-vis des rejets d'origines diverses industrielles, urbaines ou agricoles).

Ces polluants minéraux sont essentiellement les métaux lourds dotés de propriétés chimiques particulières qui leur confèrent une toxicité aussi bien vis-à-vis de l'être humain qu'à l'égard des organismes vivants du règne animal et végétal parmi ces cations métalliques que les roches phosphatées : Cadmium(Cd), le Chrome(Cr), le Mercure(Hg), le Plomb(Pb), fluor(F), et des éléments radio actifs comme l'uranium(U), qui sont considérés comme toxiques pour la santé humaine et animale.

### **I. Pollution :**

#### **I.1. Les rejets de la mine de Djebel Onk :**

##### **I.1.1. LES REJETS DE LA CARRIERE:**

###### **I.1.1.1. La poussière :**

Toutes les étapes d'un projet minier tel que l'extraction, le traitement, le transport génèrent des quantités importantes de poussières.

Des particules de matière transportées par le vent, après des opérations de fouilles, d'abattage par explosion, de transport de matériaux, de l'érosion par le vent.

Des poussières fugitives provenant des installations de résidus, des stations de culbutage, des décharges de résidus et des routes de pénétration.

###### **I.1.1.2. Paysage :**

Changement de la topographie et modification du paysage. Pendant l'exploitation de la carrière de Djebel Onk, les activités d'extraction ont un effet direct sur la morphologie des lieux aussi. Les terrils des résidus sont disposés autour de l'usine de façon aléatoire, ce qui détruit le paysage.

###### **I.1.1.3. Bruit :**

Le bruit est associé à l'exploitation minière, soit les bruits des engins, le chargement et le déchargement de roches dans les tombereaux, les toboggans, ainsi d'autres sources : le bruit du tir, le bruit des engins au niveau de la carrière.

Le bruit dans l'unité de traitement comme dans le broyage et le concassage des roches. Ces bruits peuvent affecter la santé du personnel ainsi que sur la faune et les proches résidents.

###### **I.1.1.4. Stérile :**

Les roches stériles se composent principalement de calcaire et des marnes, la taille des décharges a été estimée à partir des facteurs de foisonnement présumés appliqués au volume extrait in-situ.

On distingue deux types de décharges :

###### **décharges externes :**

Les stériles sont transportés par des camions depuis l'intérieur de la fosse jusqu'aux décharges.

## Chapitre IV : Environnement

Les zones des décharges externes se trouvent en dehors du contour final des réserves exploitables pour éviter de stériliser des ressources potentielles futures.

### ✚ décharges internes :

Les décharges internes sont créées à l'intérieur de la zone d'exploitation minier, les principaux avantages sont :

- Réduction de l'empreinte de la mine et la réduction des distances de camionnage.
- Le remplissage de la fosse existante à Kef Essnoun pour des raisons de stabilité, ainsi que la récupération de phosphate adjacent à la fosse de Kef Essnoun. Pour permettre une stabilisation rapide de la paroi nord de Kef Essnoun.

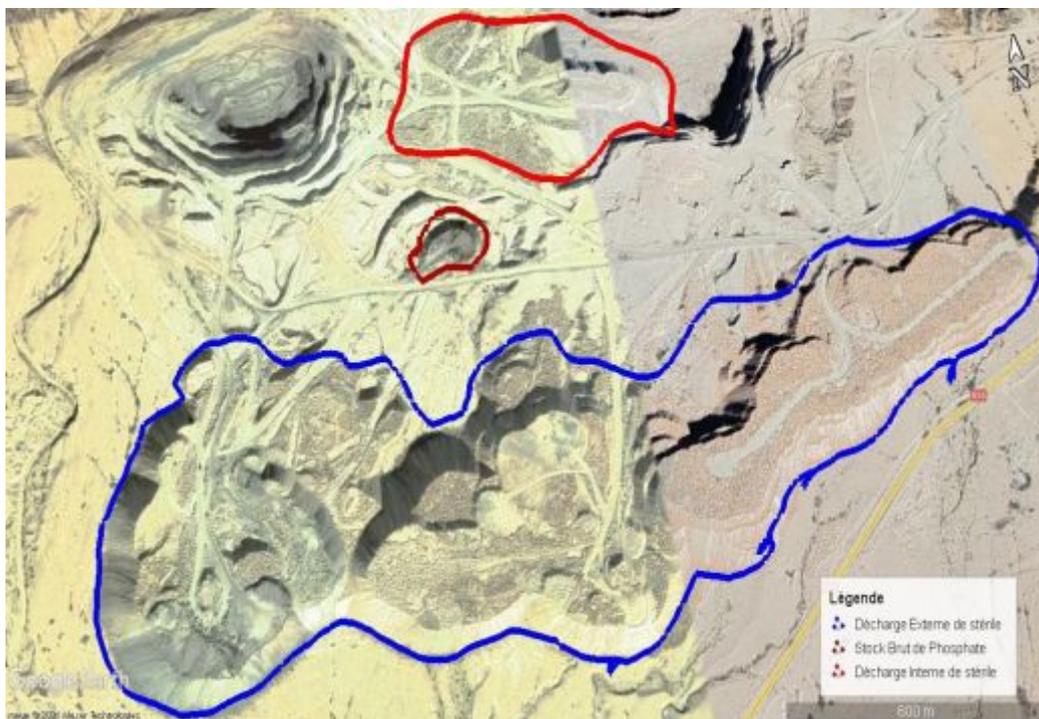


FIGURE IV-1: DECHARGES INTERNES ET EXTERNES DU STERILE DE KEF SENOUN

### I.1.1.5. Les rejets gazeux :

Les émissions de gaz (les NOx) sont un groupe de gaz hautement réactifs, provenant de la combustion de carburants dans des sources mobiles, et par des combustibles fossiles et de quelques procédés industriels (fabrication d'engrais...).

Des polluants atmosphériques réglementés comme les oxydes NO et NO2 contribuent à l'effet de serre et au dérèglement climatique et sont acidifiants et eutrophisants, leurs conséquences sont graves ; la source des pluies acides et de l'acidification des eaux douces.

### I.1.2. LES REJETS DE LA STATION DE TRAITEMENT :

#### I.1.2.1. Refus :

Les stocks de rejets grossiers de l'usine de traitement ont été réservés pour permettre leur utilisation future.

L'emplacement des stocks des rejets grossiers de l'usine de traitement a été sélectionné à proximité de l'usine suivant les directives et les recommandations du bureau d'études Allemand DMT.



FIGURE IV-2: STOCK DES REFUS GROSSIERS DJEMIDJEMA ZONE II



**FIGURE IV-3: STOCK DES REJETS GROSSIERS KEF ESSENOUN**

### I.1.2.2. Rejets liquides :

Le traitement de phosphate par l'atelier de débouage, rejette des quantités liquides importantes composées de matériaux solides et des éléments chimiques.

Un bassin de décantation a été créé au niveau de la carrière de Djemidjema zone II pour la récupération des eaux boueuses prévenantes de débouage.

L'eau surnageant est utilisée pour l'arrosage des pistes des carrières et de l'usine de traitement.

#### a. eau de traitement :

Dans les différentes étapes du traitement du minerai de phosphate l'eau est utilisée, chaque étape est caractérisée par son rejet liquide, l'origine de ces rejets liquides est l'atelier de débouage et par le lavage des phosphates et d'autres phases de traitement.

Les analyses sont faites sur les eaux suivantes :

- Eau darmoune.
- Eau du bac.
- Eau de l'épaississeur.
- Eau de boue vers l'oued.

## Chapitre IV : Environnement

Ces rejets liquides sont composés essentiellement de matériaux solides et de produits chimiques. Ces analyses sont faites dans le but de vérifier les métaux qui peuvent être présent dans ces eaux.

TABLEAU IV-2: LES ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX (SOMIPHOS)

| Echant        | Eau<br>darmoune | Bac d'eau<br>Recyclée | EauEpaississeu<br>r | EauBoue vers<br>loued |
|---------------|-----------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Heure de prel | 11H00           | 11H05                 | 11H00               | 11H30                 |
| PH            | 7.60/25°C       | 7.76/19°C             | 7.78/19°C           | 7.50/19°C             |
| TA (mg/l)     | 0               | 0                     | 0                   | 0                     |
| TAC (mg/l)    | 90              | 130                   | 94                  | 90                    |
| TH (mg/l)     | 1090            | 1090                  | 1360                | 1490                  |
| DBO5 (mg/l)   | 100             | 85                    | 128                 | 90                    |
| DCO(mg/l)     | 0.32            | 0.32                  | 0.87                | 1.50                  |
| Ca++(mg/l)    | 210.2           | 260.5                 | 289.6               | 308.6                 |
| Mg++(mg/l)    | 105.23          | 107.0                 | 131.2               | 175.1                 |
| SO4-2(mg/l)   | 1250            | 1292.4                | 1500                | 1794.6                |
| PO4-3(mg/l)   | 0.0014          | <5ppm                 | <5ppm               | <5ppm                 |
| Cl-(mg/l)     | 238.8           | 238.8                 | 419                 | 419                   |
| Na+(mg/l)     | 60              | 65                    | 65                  | 65                    |
| K+(mg/l)      | 0.50            | 0.30                  | 0.40                | 0.30                  |
| Cd+++ (mg/l)  | 0.05            | 0.07                  | 0.08                | 0.08                  |
| Zn(ppm)       | 1.25            | 1.30                  | 1.30                | 1.30                  |
| As(ppm)       | 0.57            | 0.55                  | 0.57                | 0.57                  |
| Pb(ppm)       | 0.01            | 0.01                  | 0.02                | 0.02                  |
| RS(mg/l)      | 2300            | 3900                  | 4180                | 4280                  |
| MES(mg/l)     | 320             | 250                   | 350                 | 410                   |

## Chapitre IV : Environnement

---

Les résultats nous montrent que les différents métaux lourds sont d'une variation très légère, par exemple la variation du Pb est entre 0.01 à 0.02 ppm, et de 1.25 à 1.30 ppm pour le Zn.

D'après ces résultats on constate que les différents influents n'ont pas un grand impact sur la qualité de l'eau.

### b. Les schlamms :

Ces rejets liquides sous forme de boues provenant généralement de l'atelier de débouillage. La granulométrie est caractérisée par des particules très fines.



FIGURE IV-4:REJET LIQUIDE DE L'ATELIER DE DEBOURBAGE

Tableau IV-3: Analyses chimiques et granulométriques des schlamms, cas de gisement kef essenoun (Somiphos, 2011)

| Diamètre en microns | %Poids des grains |
|---------------------|-------------------|
| +80                 | 15.25             |
| <80                 | 84.75             |

## Chapitre IV : Environnement

---

| Echantillons | TV KEFESS | Boue Débourage | Boue vers eloued | Boue du lavage | Fine Dép |
|--------------|-----------|----------------|------------------|----------------|----------|
| P2O5%        | 27.45     | 19.15          | 20.95            | 15.50          | 23.40    |
| CaO%         | 46.22     | 40.20          | 42.02            | 39.25          | 44.00    |
| MgO%         | 2.30      | 7.10           | 6.55             | 9.31           | 3.98     |
| F%           | 2.90      | 1.50           | 1.62             | 1.35           | 2.10     |
| CL(ppm)      | 250       | 510            | 555              | 600            | 450      |
| SiO2%        | 4.89      | 6.88           | 6.70             | 6.50           | 5.00     |
| Cd(ppm)      | 12        | 28             | 30               | 26             | 26       |
| Na2O%        | 1.35      | 2.0            | 3.0              | 3.00           | 1.3      |
| K2O%         | 1.00      | 0.95           | 0.91             | 0.80           | 0.09     |
| Zn(ppm)      | 388       | 350            | 415              | 450            | 300      |
| As(ppm)      | <6        | <5             | <5               | <5             | <5       |
| Pb(ppm)      | 21        | 30             | 28               | 20             | 15       |
| CO2%         | 8.75      | 19.20          | 17               | 23.7           | 11.4     |
| Fe2O3%       | 0.42      | 0.69           | 0.52             | 0.75           | 0.55     |

### I.1.2.3. Rejets solides :

#### Les fines de dépeussierage :

Ces rejets proviennent principalement du traitement à sec au niveau de l'atelier de dépeussierage. La majorité des particules ont une granulométrie à 80 microns.

## Chapitre IV : Environnement

TABLEAU IV-4: ANALYSES CHIMIQUES ET GRANULOMETRIQUES DES FINES, CAS DE GISEMENT DE KEF ESSENOUN. (SOMIPHOS, 2011)

| Echantillons | Fine dép Globale | 0.080 | -0.08+0.063 | -0.063+0.050 | <0.050 |
|--------------|------------------|-------|-------------|--------------|--------|
| P2O5%        | 23.40            | 24.94 | 20.10       | 19.85        | 20.13  |
| CaO%         | 44.00            | 45.52 | 33.17       | 31.80        | 33.21  |
| MgO%         | 3.98             | 3.25  | 5.59        | 7.22         | 5.49   |
| F%           | 2.10             | 2.80  | 2.05        | 1.85         | 2.05   |
| CL(ppm)      | 450              | 400   | 258         | 235          | 300    |
| SiO2%        | 5.00             | 5.80  | 7.20        | 12           | 8.05   |
| Cd(ppm)      | 26               | 25    | 21          | 15           | 22     |
| Na2O%        | 1.30             | 1.22  | 1.45        | 1.58         | 1.48   |
| K2O%         | 0.09             | 0.08  | 0.10        | 0.09         | 0.09   |
| Zn(ppm)      | 300              | 300   | 295         | 200          | 281    |
| As(ppm)      | <5               | <5    | <3          | <5           | <5     |
| Pb(ppm)      | 15               | 15    | 12          | 8            | 9      |
| CO2%         | 12.4             | 11.28 | 15.16       | 15.49        | 12.46  |
| Fe2O3%       | 0.55             | 0.52  | 0.60        | 0.75         | 0.65   |

| Diamètre en microns | %Poids des grains |
|---------------------|-------------------|
| +80                 | 20                |
| <80                 | 80                |

On remarque que les fines de dépoussiérage et les schlamms possèdent un certain pourcentage de concentration de phosphate, aussi la présence d'autre élément dangereux tel que le Plomb, le Cadmium et l'arsenic, donc l'entreposage de ces résidus non contrôlé et leur dispersion dans la nature pourrait amener à une contamination.

## Chapitre IV : Environnement

---

Pour augmenter le rendement, ils doivent extraire le phosphate de ces résidus avec des méthodes plus efficaces comme valorisation.

### **I.2. conclusion sur l'état des lieux :**

- Les résidus très fins sont facilement transportés et répandus dans un vaste périmètre car ils sont déposés à l'air libre sans les moyens c'est à dire sans couverture et exposés aux rafales des vents.
- La pollution des lieux avec l'infiltration de l'eau des pluies dans les nappes phréatiques ou dans des oueds.
- La pollution des sols par des éléments en traces.
- Déformation du paysage et changement de la topographie aussi les terrils des résidus sont dispersés autour de l'usine de façon aléatoire sans organisation.
- Les résidus miniers doivent être triés mais non l'entreposage des résidus miniers qui est fait d'une façon non sélective.



**FIGURE IV-5: TERRILS DES REJETS SOLIDES**

### II. Mesure de Gestion et Valorisation :

#### 1. Recouvrement des terrils :

Ce moyen existe pour limiter les dégâts et empêcher que le vent ne dispersent ces particules pour les rejets ayant des quantités de phosphates et d'autres éléments qui n'ont pas de valeur satisfaisantes ; c'est-à-dire recouvrir les résidus de géomembranes et par une épaisse couche de terre de sorte à ce qu'il n'y pas de contact entre les résidus contaminé et le sol, sur lequel ont plantés des végétations.

Pour ce processus on utilise des géomembranes qui sont utilisées notamment en génie-civil, le but des géomembranes est de stocker de déchets solides, industriel ou pour déchets ménagers, en plus la elles permet de limiter les infiltrations et les pollutions des sols.

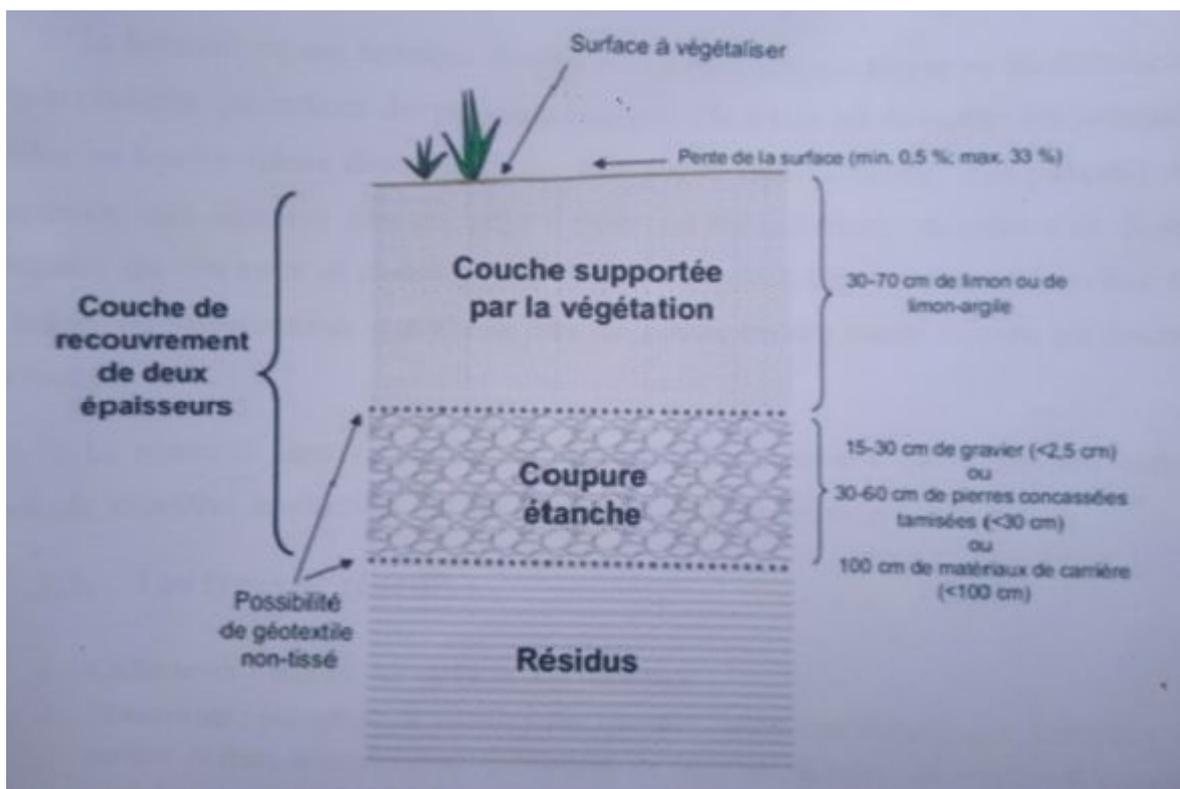


FIGURE IV-6:SCHEMA D'UN EXEMPLE DU RECOUVREMENT DES RESIDUS

### 2. Traitement des fines par flottation :

#### 2.1. Introduction :

La flottation est inéluctablement l'un des procédés les plus importants pour concentrer les minerais utiles du point de vue minéralurgique.

Ce procédé permet d'exploiter et valoriser des gisements pauvres qui sont autrement n'auraient pu être exploités, par exemple les rejets des procédés gravimétriques qui étaient souvent plus riches en minerai utile que les gisements pauvres sont revalorisés par flottation.

#### 2.2. Principe de flottation :

La flottation a pour but de séparer des particules solides ou liquides d'une phase liquide.

Le principe de la flottation repose sur le captage du corps en suspension dans une pulpe à traiter par des réactifs.

Les particules peuvent flotter à la surface de la cellule ou des agglomérats sont retenus dans une masse, qui est ensuite évacuée du procédé de traitement par les déverses ou par raclage, à condition que les particules mises en contact avec les bulles d'air seront captées par ces dernières bulles.

La différence des masses volumiques entre les deux phases en présence fait partie des bases de la flottation :

➤ La flottation naturelle se produit si la masse volumique de la phase dispersée est nettement inférieure à celle de la phase continue, la séparation s'effectue automatiquement.

➤ Si la masse volumique de la phase dispersée est légèrement inférieure à celle de la phase continue, la flottation est dite assistée, étant donné les moyens extérieurs mis en œuvre pour améliorer la séparation.

➤ Quand la masse volumique de la phase dispersée est à l'origine supérieure à celle de la phase continue, est artificiellement réduite. La flottation est dite provoquée. La qualité de la flottation provoquée dépend surtout des interactions physico-chimiques et hydrodynamiques entre les trois phases solides, liquides et gazeuses.

#### 2.3. Différents types de flottation :

Deux grands types peuvent être distingués dans la famille des procédés de flottation suivent le diamètre des bulles d'air utilisées pour effectuer la séparation.

### 2.3.1. La flottation a l'air induit (FAI) :

Ce procédé est surtout utilisé en minéralurgie, mais pas dans le domaine du traitement des eaux, excepté dans le domaine pétrolier et dans les traitements primaires d'eaux résiduelles.

La dispersion d'air sous forme de bulles peut être réalisée par :

➤ Agitation mécanique : L'air est introduit dans la cellule sous le rotant d'une turbine par une conduite. Une forte agitation turbulente peut créer des bulles de 0.2 à 2 mm de diamètre. La vitesse ascensionnelle est d'environ 200 mm/s.

➤ Distributeurs poreux : Les orifices leurs buts est d'introduire de l'air, par exemple des membranes souples percées ou des matériaux céramiques poreux. Les bulles créés sont relativement grosses  $D_b=2$  à 4 mm.

### 2.3.2. Micro flottation :

D'après son nom, ce procédé repose sur la production des fines bulles afin d'augmenter la concentration en bulles et de garder une faible vitesse ascensionnelle des bulles d'air. D'après Grogory et Zabel(1990), le rendement de séparation dans ce cas est maximal. Dans ce type de flottation les fines bulles d'air peuvent être produites par les méthodes suivantes :

- Flottation à air dissous.
- Flottation électrique.
- Flottation chimique.

### 2.4. Mécanismes fondamentaux de la flottation :

La sélectivité et l'efficacité des procédés de flottation sont contrôlés par les mécanismes de l'interaction bulle particule.

L'interaction est liée à plusieurs domaines scientifiques comme :

- l'hydrodynamique des inclusions et leurs interactions.
- Les forces interfaciales, la chimie colloïdale.
- L'adsorption aux interfaces gaz liquide.
- Le drainage de film visqueux.

#### 2.4.1. Modèle à trois zones :

Le modèle a trois zones est introduit et décrit dans le processus d'interaction bulle-particule(Derjaguin et Dukhim ; 1961).

• Zone 1 : La région qui se trouve loin de la surface de la bulle dominée par les forces hydrodynamiques, on parle de collision.

• Zone 2 : proche de l'interface de la bulle, l'interaction est contrôlée par la force électrophorétique.

- Zone 3 : Les forces de surface deviennent importantes parmi ces forces : la force de Van Der Waals la force électrostatique et la force structurale ( force hydrophobe).

### 2.4.2. Modèle a trois étapes :

Ces trois étapes successives sont généralement appelées :

1. La collision.
2. L'attachement.
3. La stabilité de l'attelage.

Ces trois étapes de capture sont contrôlées par les différents types d'interactions entre la bulle et la particule : l'interaction hydrodynamique, l'interaction gravitaire, l'interaction capillaire et celle due aux forces de surface.

### 2.5. Réactifs de flottation :

- **Collecteurs** : Un tensioactif (ou collecteur) est une molécule organique qui s'adsorbe à la surface du minerai ou du contaminant le rendant hydrophobe, facilitant ainsi l'attachement à une bulle d'air. L'ajout d'un collecteur permet d'augmenter l'hydrophobicité naturelle d'une substance non polaire ou de générer une hydrophobicité artificielle pour une substance polaire.

- **Moussants** : son but est de créer des mousses , pour diminuer la tension de surface , puis contrôler la taille des bulles prolongeant ainsi leur durée de vie.

- **Activants** : Son but est de rendre actifs les minéraux avec la modification de surface .

- **Déprimants** : Son but est de rendre les phases minérales non désirées hydrophiles.

- **Dispersants** : Son but est d'empêcher l'agglomération des particules.

### 2.5.1. Cellule de flottation :

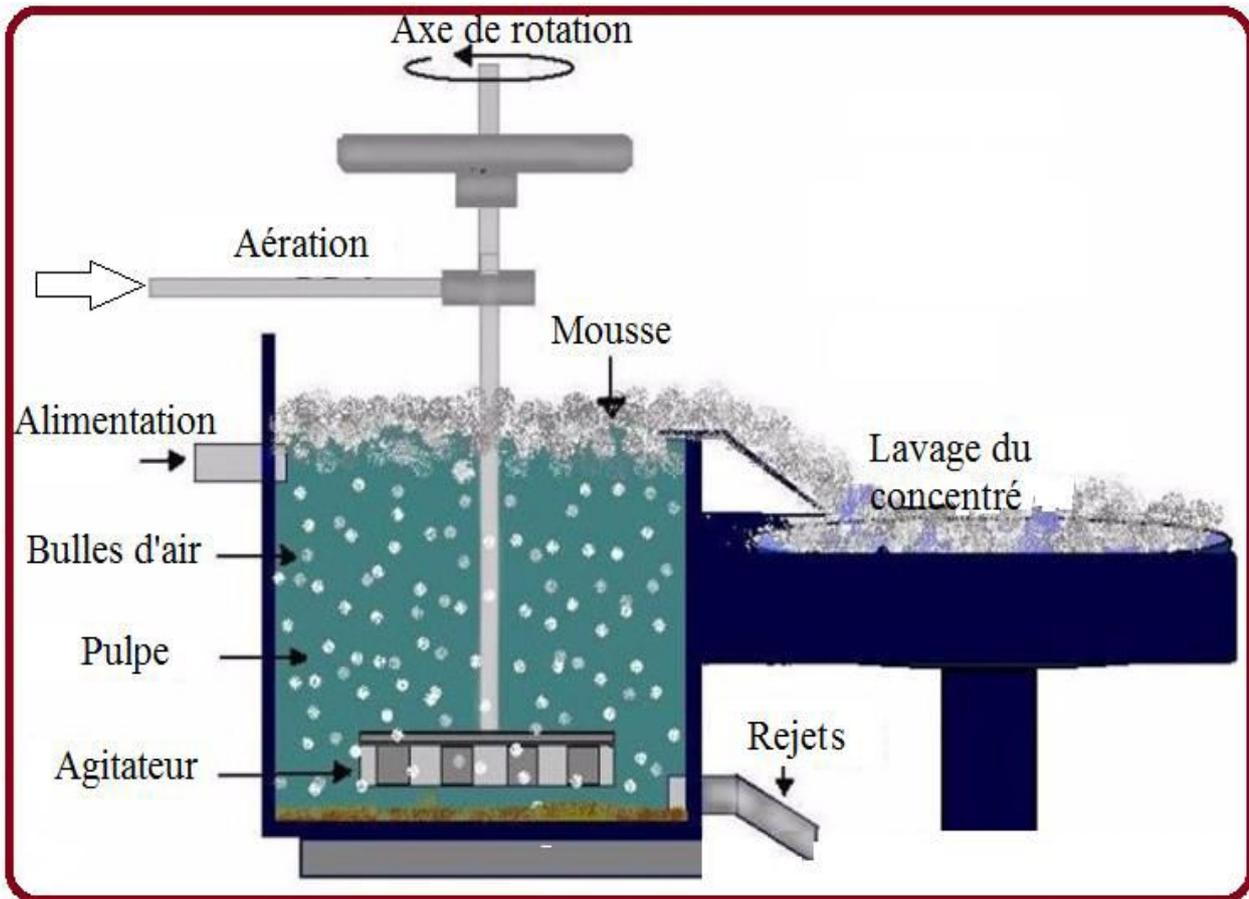


FIGURE IV-7: CELLULE DE FLOTTATION

### 2.6. L'efficacité de la flottation dépend des conditions suivantes :

- Le débit de la pulpe qui entre dans la machine de flottation.
- La densité de la pulpe.
- Grosseurs du minerai à flotter.
- La température de la pulpe.
- Durée de flottation.
- Le type d'aérage et d'agitation.
- La vitesse des réactifs de flottation.

### **2.7. La flottation utilisée dans des cas de traitement de phosphate du Djebel Onk :**

Dans cette partie, nous présentons les résultats des essais expérimentaux concernant la flottation menée sur le concentré de phosphate de Djebel Onk-Tebessa. L'objectif des essais de la micro-flottation est de déterminer les conditions optimales permettant d'avoir une maximum de récupération en concentré de phosphate et d'analyser l'influence que peuvent avoir certains paramètres (concentration du collecteur, concentration en acide), sur l'activité du processus de flottation.

Le phosphate de Djebel Onk est un minerai d'origine sédimentaire associé à une gangue carbonatée sous forme de dolomie et de calcite.

La technique de séparation du minerai la plus utilisée est le jiggage, mais cette technique pose des problèmes notamment beaucoup de perte au niveau des substances utiles dans les rejets.

À travers les essais de micro-flottation, on peut déterminer les paramètres physico-chimiques optimaux de la flottation du phosphate, par exemple les valeurs de pH et la concentration nécessaire de Na-oléate et d'AERO 6493 pour une flottation complète du phosphate. Les résultats de l'analyse thermodynamique et des tests expérimentaux montrent que la valeur optimale du pH pour une récupération maximale de phosphate est de 8,7, cependant la concentration du collecteur Na-oléate nécessaire pour une meilleure extraction de phosphate est de 30.44 mg / l.(Fares.M.2010)

# CONCLUSION GENERALE

### V. Conclusion Générale:

Le gisement de phosphate de djebel Onk d'âge Thanétien-Yprétien, est d'origine sédimentaire, ces phosphates sont formés grâce à des accumulations et sédimentation de matériaux riches en phosphore dans un milieu qui propose des facteurs positifs pour cette transformation.

Le gisement est exploité par SOMIPHOS. L'exploitation se fait à ciel ouvert.

Le minerai passe par un procédé mécanique: le but de cette phase est de rendre les grands blocs petits et réduire leurs tailles. Le traitement : par voie humide ou voie sèche.

Pendant le traitement du minerai beaucoup de rejets sont générés :

- La partie mécanique de l'exploitation génère, de la poussière et des millions de tonnes de stérile stockés de façons aléatoires,
- Les nuisances sonores, bruit soit le bruit des engins ou le bruit du tir,
- des rejets gazeux atmosphériques.
- Dans la partie traitement : l'usine génère beaucoup de rejets comme: Des rejets liquides sous forme de boue et dans la voie sèche des rejets solides qu'on appelle fines de dépolluissage.

Ces rejets comme le refus et le stérile occupent de vaste surface, en plus ils sont exposés au vent car ils sont à l'air libre, ces rejets permettent aux particules de se disperser sur un périmètre important.

Des analyses ont montrés que ces rejets contiennent des éléments dangereux qui influencent l'état de l'environnement et les êtres vivants.

Pour y remédier de ces dégâts qui seront générés par ces rejets on doit; valoriser ces rejets de différentes manières comme:

- Recouvrement des résidus par des matériaux géotextiles, cette méthode est pour les rejets qui n'ont plus grandes intérêts. Cette méthode empêche le transport par les vents et la réaction et la contamination de la nappe phréatique, aussi une bonne méthode pour la réhabilitation du paysage.
- On utilise de la flottation pour les fines qui recèlent une concentration en phosphate satisfaisante, car avec cette méthode on peut extraire la concentration de phosphate restant dans ces résidus, mais on note que cette méthode est coûteuse.
- Les rejets liquides sous forme de boues donnent des bons résultats dans les domaines de l'agriculture.

Ces rejets liquides posent un grand problème s'ils sont stockés dans le bassin de décantation, donc La société de Somiphos doit trouver un accord avec une entreprise agricole pour éviter ces problèmes de pollution et de stockage dans le site.

## BIBLIOGRAPHIE

Aissaoui D. (1984) : Les structures liées à l'accident sud –Atlasique entre Biskra et le Djebel Mannadra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Strasbourg.

Ali Mohammed (2008): Rapport de training, Bir El Ater, Tébessa.

ANGCM , Atlas de Tebessa :Mr. A. ABED , ET Mr K. AIT AMI. Mr SOURI Abdelhalim.

BRGM et SOFREMINES .(1992) :Rapport des travaux de recherche du gisement de phosphate de Djebel Onk, rapport inédit.

Boudahra **A** et Saidi **N**(2011) : Etude de la pollution dans le district minier d'El Ouenza.

Boussaid **F** et Elgaraoui **H** (2015) : Impact de la pollution par les phosphates de la mine d'El Kouif, Tebessa /Usthb.

Belmahdi **H** et Abouda **N** (2017) : Optimisation des paramètres de chargement et transport cas de Djebel Onk.

Boukhobza **S** et Hadri **B** (2020) : Contribution à l'étude de l'abatage à l'explosif dans les massifs rocheux fissurés cas de la carrière de Kef Essenoun, Djebel Onk.

BRGCM et SOFREMINES (1992) : Rapport des travaux de recherche du gisement de phosphate de Djebel Onk, rapport inédit.

Belhout **L** et Bouarioua **I** (2020) : Rapport de stage , Kef Essenoun Djebel Onk , Somiphos, Tebessa.

Belhout **L** et Bouarioua **I** (2020) : Rapport de stage , Kef Essenoun Djebel Onk , Somiphos, Tebessa.

Chabou mostafai S. ( 1987) : Etude de la série phosphatée tertiaire du Djebel Onk, Algérie, Stratigraphie, pétrographie, Minéralogie et analyse Statistique, thèse doctorat, Univ . Droit, d'Economie et des Sciences d'AIX-MARSEILLE.

Fares **M** (2010) : Caractérisation et traitement du minerai du phosphate de Djebel Onk pour son utilisation dans la fabrication des produits chimiques.

Fisher A.G et Jérôme D. (1973) :Geochemistry of minerals containing phosphorus, in Environmental phosphorus Handbook, 141p-John Wiley and Sons. New York, London, Sydney, Toronto.

Kerdoun Azzouz (1996) : Les études d'impact sur l'environnement en Algérie.

Laffite **R** (1939) : Etude géologique des Aures. Thèse de doctorat.

Lambert **S** (1997) : les géomembranes .Ingenieries.

Lakhal. **M** (2015) : Rapport de stage dans la société des mines de phosphate SOMIPHOS, Djebel Onk.

Matoub. **L** et Moussaoui I.(2016) : Contribution à l'étude environnementale et valorisation des rejets de la mine de phosphate du Djebel Onk- Tébessa( NE Algérien).

Meftah.L :Mémoire sur l'impact des travaux sur l'environnement Indice grand pic (Tissemsilt).

Mémoire (2013) : Etude d'impact sur l'environnement de l'usine de mercure d'Ismail (Azzaba, Skikda).

Nettour Djamel .(2018) :Caractérisation et élaboration d'un nouveau schéma de traitement des minerais de phosphate beige, cas de la mine de Djebel Onk. Th2se Doctorat.

Omari. **A** et Aikar. **M** (2014) : Contribution à l'étude des minéralisations phosphatées du Kouif, Wilaya de Tébessa (Atlas Saharien Oriental, Algérie).

Plan d'exploitation 2021 : société des mines de phosphates Somiphos Spa.

Rahmani **K** et Babouche **H** : Contribution à l'étude paléontologique du gisement des phosphates de Djemi Djema ; Djebel Onk.

Souami Aouetef et Bahou A.(2017) : Elimination du cadmium des rejets de phosphate cas de la mine de Djebel Onk.

Sami **L** (2003) : Contribution à l'étudegéologique des minéralisations à Pb- Zn, Ba et F dans la région de Meskiana : Exemple des indices d'Es Souabaa et de m'Khiriga. ( Atlas saharien oriental, Algérie), thèse de magister, USTHB, Alger.

Visse. L.D. (1952) :Genese des gites phosphatés du sud est Algero- Tunisien. XIX CongrèsGéolIntern, Mono Région 1ère série, 27 p.

Les sites:

[Universalis.fr/encyclopedie/apatites.](https://universalis.fr/encyclopedie/apatites)

## **RESUME**

Le gisement de phosphate du djebel Onk est exploité à ciel ouvert. Le minerai est ensuite envoyé à l'usine de traitement à proximité du site. Le minerai subit un traitement mécanique en premier lieu. Il est ensuite traité par voie humide ou par voie humide ou par voie sèche.

De ces deux types de traitement résultent le produit marchand et les rejets : schlamms et fines.

Ces rejets ont un potentiel de pollution au vu de leur teneur en éléments dangereux comme le cadmium, en plus du fait qu'ils occupent de vastes espaces.

Ces fines on peut les valoriser avec la méthode de flottation et utilisation des schlamms comme fertilisants.

## **ABSTRACT**

Djebel Onk deposit is mined by open it. The ore is then sent to the nearby site treatment plant. Ore undergoes a mechanical treatment in the first place. It is then treated by wet or dry processing.

From these two types of treatment result the product releases: Slurries and Fines.

These releases have potential pollution due to their content of Cadmium, the fact that they take large spaces.

It is possible to valorize the tailing by treating the fines with the flotation process and use the slurry as fertilizer.