

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار - عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



Année 2010

Faculté des Sciences de la Terre

Département des Mines

**MEMOIRE**

En vue de l'obtention du diplôme de

**MAGISTER**

**RECYCLAGE DES EAUX ET RECUPERATION  
DES SCHLAMMS PHOSPHATES ISSUS DES  
PROCEDES DE CLASSIFICATION  
GRAVIMETRIQUE**

Option : valorisation et gestion des ressources minérales

Par

**FERRAG DIT ALLEG SAMIR**

SOUTENU DEVANT LE JURY :

Président : A. Hafsaoui MCA Université Badji Mokhtar -Annaba.

Rapporteur : M. Bounouala Pr Université Badji Mokhtar -Annaba.

Examineurs : A. Idres MCA Université Badji Mokhtar -Annaba.

M. Laid Boukeloul MCA Université Badji Mokhtar -Annaba,

## **DEDICACES**

Je dédie ce modeste travail à toute ma famille, mes parents, mes frères, mes sœurs ma femme et mon cher enfant Ilyes pour leur compréhension

Je dédie également ce travail à la mémoire de mon frère Ridha.

[www.oxpdf.com](http://www.oxpdf.com)

**Samir**

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à remercier vivement mon encadreur professeur. Mohamed Bounouala pour son aide et tous les efforts déployés afin de réussir ce travail et ses orientations précieuses.

Je tiens à remercier également le jury :

Docteur A. Hafsaoui d'avoir accepté d'examiner ce travail ;

Docteur A. Idres pour son importante aide et assistance ;

Docteur M. Laid Boukeloul pour ses orientations et encouragement.

Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de la promotion pour les efforts déployés pour réussir la formation.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail que se soit au niveau de l'entreprise ou bien au niveau de l'université de Badji Mokhtar Annaba.

**Samir**

## Résumé

Le minerai de phosphate représente un potentiel important dans l'économie mondiale. L'Algérie est l'un des pays producteurs de cette matière première gérée par l'entreprise Somiphos filiale de Ferphos groupe, elle s'occupe de l'exploitation et du traitement des phosphates. Le plan de développement de l'entreprise repose essentiellement sur l'augmentation de la capacité de production en brut et en traité tout en respectant les gammes commercialisées à l'échelle mondiale.

Le complexe minier de Djebel-Onk est alimenté par le gisement de kef Essennoun, considéré parmi les plus importants créneaux de développement de phosphate, et dans un souci de rationaliser l'exploitation et le traitement du minerai pour une meilleure prise en charge des consommateurs (prise en charge des exigences client en terme de quantité et qualité).

Dans le présent travail, l'objectif recherché est d'étudier la possibilité d'augmenter le rendement des installations par la récupération des rejets phosphatés (schlamms) c'est d'une part et d'autre part de recycler l'eau issue de la voie humide (traitement humide).

Cette solution permettra d'augmenter la capacité de production et de diversifier la qualité du produit et réduire l'impact de ces rejets sur l'environnement au moyen de recyclage des eaux.

L'analyse du circuit d'eau au niveau du complexe par le calcul à chaque fois du rapport liquide solide a montre que le complexe de Djebel onk perd beaucoup de quantité d'eau dans la nature alors qu'on pourra la récupérer par une simple décantation dans un endroit approprié et qui peut atteindre les 40% de la quantité évacuée avec les boues de débouillage tan disque pour l'eau véhiculant les fines dépoussiérage la récupération peut dépasser nettement les 40%, du fait que le rapport liquide solide est nettement supérieur.

Toute cette eau peut être récupérée et réinjectée dans le circuit au niveau de l'usine de traitement si une technologie adéquate est utilisée surtout au niveau de l'atelier de dépoussiérage ainsi que l'endroit de stockage des fines ce qui offre au complexe la possibilité de réduire ses couts de traitement et d'augmenter sa marge bénéficiaire.

Pour attendre l'objectif recherché on propose de réaliser des essais de décantation pour la récupération des eaux claires et en suite procédés a des essais de séparation des fines de dépoussiérage par moyen de jig (bac excentrique a pistonage ).

Les essais ont été réalisés au niveau du laboratoire d'enrichissement des minerais du département des mines de l'université d'Annaba. Les résultats obtenus sont encourageants.

## Abstract

The phosphate ore is a fairly large potential in the global economy. It occupies the 11th place. Algeria is one of the countries producing this material. SOMIPHOS-FERPHOS, is the Company that deals with the exploitation and processing of phosphates. The development plan of the company FERPHOS based primarily on increased production capacity in raw and treated while respecting the lines marketed worldwide. The deposit kef Essennoun is considered among the main development of phosphate, this being and in order to streamline operations including the processing of ore to better support customer requirements in terms of quality.

The deposit kef Essennoun virtually the only pool that provides power for the mill especially for demanding clients has undergone several exploration campaigns over a long period, the existing database is of great importance that it allows it to initiate any study. In this work, the goal is to study the possibility of increasing the efficiency of facilities by weight the recovery of other bands if possible on one hand and secondly reduce water consumption essential element in the wet processing resource that is increasingly rare and is very pulpit

Through analysis and comparison of particle size and chemistry of each tranche (class) of all comers, and discharges various qualities discharges Analysis of the water system at the complex of Jebel Onk loses a lot of quantity of water in nature so that he can easily recover by simple settling in a suitable location and can reach 40% of the amount discharged with with the sludge settling fan disc for water carrying fine dust recovery may significantly exceed 40%.

All this water can be recovered and reinjected into the water system at the treatment plant if adiqate technology is mainly used at the workshop dust and the place storage which offers fine complex can reduce manufacturing cost and increase profit margins. The use of process jiggage for fine dust collection at the laboratory scale has informed its effectiveness in separating into two thin slices which can be a solution to the shopfloor of dust on the one hand by doping souvreses of (large) the jig with the product intended for direct application and also reduce the amount of fines was stored.

## ملخص

يلعب خام الفوسفات دور هام في الاقتصاد العالمي حيث يحتل المرتبة الحادية عشر و تعد الجزائر واحدة من البلدان المنتجة لهذه المادة.

مجمع فرفوس وبالتحديد صوميفوس هي المؤسسة الوحيدة التي تعنى باستخراج ومعالجة هذه المادة حيث تعتبر الزيادة في الإنتاج الخام والمعالج أهم محاور تطوير المؤسسة مع احترام ضرورات التسويق. يمثل في الوقت الحالي منجم كاف السنون المنجم الوحيد الذي يزود مصنع المعالجة بالفوسفات الخام مع مراعاة الطرق الأساسية وغير المكلفة في الإنتاج.

كما يمكن أن نشير إلى وفرة المعلومات الجيولوجية وغيرها التي تسمح بإنجاز أي دراسة. في هذا العمل حاولنا البحث عن كيفية زيادة مرود وسائل الإنتاج من جهة ومن جهة أخرى مراعاة إمكانية إسترجاع كمية الماء المستهلكة في المعالجة. خاصة وأن هذا المورد مكلف وغير متوفر في منطقة شبه صحراوية.

التحليل لمجرى إستعمال المياه على مستوى مصنع المعالجة من خلال الحساب بيّن، أنه يتم فقد كميات كبيرة من الماء في الطبيعة كان بالإمكان إسترجاعها وإعادة حقنها في نظام توزيع المياه يمكن أن تصل إلى **40 %** من الكمية الإجمالية المرافقة للوحل ( طين) لورشة المعالجة بالماء ( **débourbage**) أما فيما يخص الماء المستعمل كوسيلة نقل لغبار ورشة التنفيض فإن كمية الماء المسترجعة يمكن أن تفوق بكثير **40 %**.

كل هذا الماء يمكن إسترجاعه وإعادة حقنه في نظام توزيع المياه على مستوى المركب إذا تم مراعاة تكنولوجيا مواتية و مناسبة على مستوى ورشة التنفيض وكذلك مكان خاص لجمع و تخزين و من ثم تطهير الوحل ( **schlamms**).

إن إستعمال تقنية الفصل ( **jiggage**) تبين إمكانية فصل الغبار (ورشة التنفيض) إلى شريحتين الجزء الأكبر من ناحية الحجم يمكن إعادة دمج مع المنتج العادي المستعمل كسماد.

# SOMMAIRE

	Page
Résumé	
Liste de figures	1
Liste des tableaux	3
Introduction	4
Chapitre I - Introduction sur les minerais de phosphates	5
I.1- Nomenclature des roches phosphatées	6
I.2- Types de gisements de phosphate	6
I.3- Genèse des phosphates	7
I.4- Economie des phosphates	9
Chapitre II - Analyse de la géologie du gisement de phosphate de djebel- Onk	11
II.1- Géologie régionale	11
II.1.1-Situation géographique des gisements de djebel Onk	11
II.1.2 – Historique et méthodologie des recherches géologiques au djebel Onk	13
II.1.3- Stratigraphie	14
II.1.4- Tectonique régionale	18
II.1.5- Paléogéographie	20
II.1.6-La géochimie	24
II.2- Géologie du gisement de Kef Essennoun	25
II.2.1- Lithostratigraphie	26
II.2.2- Structure géologique	27
II.2.3- Minéralisation	27
II.3- Conclusion	31
Chapitre III - Analyse de la méthode d'exploitation et d'enrichissement des minerais de phosphate	32
III.1- Méthode d'exploitation	32
III.1.1- Contraintes d'exploitation et réserves exploitables	32
III.1.2- Critères d'exploitabilité	33
III.1.3- Paramètres d'exploitation	34
III.2- Enrichissement des minerais de phosphate	40
III.2.1- Introduction	40
III.2.2- Caractéristiques de phosphate de djebel Onk	43
III.3- Conclusion	52
Chapitre IV- Analyse bibliographique des flow-scheet de traitement des rejets phosphates issus de la classification hydraulique avec possibilité de recyclage des eaux	53
IV.1- le projet gospel	53
IV.2- Le projet Elmaa	54
IV.2.1- Laboratoire de traitement et recyclage des eaux, centre de recherche et technologies des eaux (CERTÉ)- Tunisie	55
IV.2.2- Possibilité d'amélioration de la récupération d'eau à partir des schlamms de la laverie de phosphate de Mdila	55
IV.2.3- Utilisation agricole des boues (rejets) phosphatées dans les sols gère par l'office des terres Domaniale de Gafsa	56
IV.2.4- Industrie du phosphate en Jordanie	56
IV.3- Conclusion	57

Chapitre V- Echantillonnage et caractérisation physico-chimique des fines solides (schlamms) phosphatés	58
V.1- Echantillonnage	58
V.2- Caractérisation des rejets	58
V.2.1- Caractérisation du produit criblé	58
V.2.2- Caractérisation des différents produits marchands	63
V.2.3- Caractérisation des rejets	76
V.2.3.1- Caractérisation des fines de dépoussiéage	76
V.2.3.2- Caractérisation des schlamms	76
V.2.4- Caractérisation de l'eau de traitement	83
V.3- Conclusion	85
Chapitre VI - essais de séparation gravimétrique et d'égouttage	86
VI.1- Introduction	86
VI.2- Essai de sédimentation libre pour les schlamms	86
VI.2.1- Détermination du rapport liquide- solide des schlamms	90
VI.2.2- Détermination de la vitesse de sédimentation	90
VI.2.3- Analyse de l'eau	93
VI.3- Essai de concentration par accélération différentielle pour les fines de dépoussiéage	93
VI.4- Conclusion	98
Conclusion générale et recommandations	99
Bibliographies	100

www.oxpdf.com

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure.1 – schéma de la phosphatogénèse selon A.V.Kazakov (1930).	8
Figure. 2 – Carte de situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk (d’après G.P.Prian et Ph.cortiel,1993)	12
Figure. – 3 Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk – Algérie orientale (d’après G.Ranchin,1963)	17
Figure. 4 – Carte structurale de la région de Djebel Onk à l’intérieur du bassin de Gafsa – Méthlaoui – Onk (D.Aissaoui, 1984).	18
Figure. 5 – Coupes stratigraphiques et structurales des flancs Nord et Sud de Djebel Onk (EREM, 1986).	19
Figure. 6 – Situation paléogéographique des gisements de phosphates de la région de Djebel Onk à l’intérieur du bassin phosphatés Gafsa – Méthlaoui – Onk	23
Figure. 7 – Coupes géologiques sériées du gisement de Kef Essennoun djebel-Onk- Algérie orientale – (EREM,1987)	29
Figure. 8 – Structure de la couche de phosphates dans la zone de Kef Essennoun et localisation des sondages carottés (BRGM,1993)	30
Figure. 9 – Coupes Nord-sud de la carrière de Kef Essennoun avant éboulement	34
Figure. 10 – carrière de Kef Essennoun avant éboulement	36
Figure. 11 – carrière de Kef Essennoun après éboulement	37
Figure. 12 – Schéma de préparation mécanique du phosphate de djebel -Onk	45
Figure. 13 -Schéma de préparation du minéral de la ligne A (atelier débouillage)	48
Figure. 14 – Schéma de préparation du minéral de la ligne C (atelier débouillage)	49
Figure. 15- Batterie d’hydrocyclonage	50
Figure. 16 – Schéma de traitement du phosphate par l’atelier de dépoussiérage	51
Figure.17- Evolution du rendement poids en fonction des classes granulométriques du produit criblé (0-15 mm)	60
Figure. 18 – Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques produit criblé (0-15 mm)	62
Figure. 19 – Evolution des éléments traces dans les tranches granulométriques produit criblé ( 0-15 mm)	62
Figure. 20 – Evolution du rendement en fonction des classes granulométriques produit 66-68 % TPL	68
Figure. 21 – Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques produit 66-68 % TPL	69
Figure. 22 – Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques produit 66-68 % TPL	69
Figure. 23 – Evolution du rendement en fonction des classes granulométriques produit 63-65 % TPL transformation	71
Figure. 24 – Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques produit 63-65 % transformation	72

Figure. 25 – Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques produit 63-65 % TPL transformation	72
Figure. 26 – Evolution du rendement des classes granulométriques produit 63- 65 % TPL épandage classes granulométriques fines dépoussiérage	74
Figure. 27 – Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques produit 63-65 % TPL épandage	75
Figure. 28 – Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques produit 63-65 % TPL épandage	75
Figure. 29 – Evolution du rendement en fonction des classes granulométriques fines dépoussiérage	78
Figure. 30 – Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques fines de dépoussiérage	79
Figure. 31 – Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques fines de dépoussiérage	79
Figure. 32 – Evolution du rendement en fonction des classes granulométriques des schlamms	81
Figure. 33 – Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques des schlamms	82
Figure. 34 – Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques des schlamms	82
Figure. 35 – Figure.35-Les deux échantillons pour les essais (schlamms et fines)	87
Figure.36-Vues des fines de dépoussiérage par microscope assisté par ordinateur	88
Figure.37-décantation (sédimentation) naturelle des schlamms et formation du gâteau phosphaté.	89
Figure.38- Vitesse de sédimentation durant la première heure	91
Figure.39- Vitesse de sédimentation durant 36 heures de décantation	92
Figure.40-Séparation des fines de dépoussiérage par le bac a piston Laboratoire de l'université Badji Mokhtar de Annaba	95

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableaux</b>	<b>Page</b>
Tableau.1 – Prévision et réalisation phosphate et stérile de 2005 à 2009.	39
Tableau.2 – Analyse granulométrique du produit criblé (0-15 mm)	60
Tableau.3- Analyse chimique du tout venant par classes granulométriques.	61
Tableau.4 – Fiche technique 66-68 % TPL (granulométrie)	63
Tableau.5– Fiche technique 66-68 % TPL (chimie)	64
Tableau.6 – Fiche technique 63-65 % TPL Transformation (chimie)	65
Tableau.7 – Fiche technique 63-65 % TPL transformation (granulométrie)	65
Tableau.8 – Analyse chimique 66-68 % TPL par classes granulométriques	67
Tableau.9 – Analyse granulométrique du 66-68 % TPL	68
Tableau.10 – Analyse chimique par classes granulométriques 63-65 % TPL.	70
Tableau.11 – Analyse granulométrique du 63-65 % TPL.	71
Tableau.12 - Analyse chimique par classes granulométriques du 63-65 % TPL épandage.	73
Tableau.13 – Analyse granulométrique 63-65 % TPL épandage	74
Tableau.14– Analyse chimique des fines de dépoussiérage par classes granulométriques.	77
Tableau.15 – Analyse granulométrique des fines de dépoussiérage.	78
Tableau.16 – Analyse chimique des schlamms par classes granulométriques	80
Tableau.17 – Analyse granulométrique des schlamms	81
Tableau.18 – Analyse des eaux	84
Tableau.19- Vitesse de Sédimentation durant la première heure (Réceptif 11)	91
Tableau.20- Vitesse de Sédimentation durant 36 heures de décantation	92
Tableau.21- Analyse des différents échantillons d'eau en fonction du temps de sédimentation	94
Tableau.22- Analyse granulométrique des Echantillons 300g, 500g et 800g (jiggage)	96
Tableau.23- Analyse chimique des trois Echantillons utilisés dans les essais de jiggage	97

## 1- INTRODUCTION ET POSE DU PROBLEME

Le gisement de Kef Essenoun alimentant l'usine de traitement par le phosphate brut, ses réserves exploitables sont l'ordre de 300 millions de tonnes avec une teneur proche de 24 %  $P_2O_5$ , est considéré parmi les principaux axes de développement de phosphate, ceci étant et dans un souci d'encadrer la commercialisation des différents gammes de produits par une meilleure prise en charge des exigences clients en terme de qualité, une maîtrise du passage du produit à travers les différents organes de traitement en terme de rendement qualité et cout s'impose. Le traitement du produit brut (phosphate) se fait par deux voies à savoir :

- La voie sèche où le produit subit un traitement selon les caractéristiques physico mécaniques de la roche ;
- La voie humide où l'utilisation de l'eau par mise en pulpe est l'élément clef du traitement du minerai actuellement près de la moitié de la production marchande est réalisée par voie humide (soit 1 million de tonnes) avec une consommation d'eau de toute l'usine d'environ  $4000 \text{ m}^3 / \text{jour}$  ce qui exige une parfaite maîtrise de cette ressource qui se fait de plus en plus rare et chère.

Cette étude vient pour compléter les travaux réalisés sur le recyclage des eaux issues des procédés de classification et récupération des schlamms phosphates. Le présent travail, a une double dimension d'une part est d'étudier la possibilité de récupération par séparation des fines contenue dans l'eau de traitement pour une éventuelle valorisation afin d'augmenter le rendement poids de l'installation ce qui diminue le coût et augmente la marge bénéficiaire, d'autre part la récupération d'une partie de fines envoyées vers la nature permettra de mieux préserver l'environnement par la réduction quantifiable de déchets et la réduction aussi de la quantité d'eau utilisée pour transporter les fines vers les zones de décharge.

Les résultats obtenus sont présentés dans le présent mémoire. Il comporte une introduction suivie de six chapitres a savoir : Introduction sur les minerais de phosphate, Géologie de gisement, analyse de la méthode d'exploitation et d'enrichissement des minerais de phosphate, analyse bibliographique des flow- sheet de traitement des rejets phosphatés issu de la classification hydraulique avec possibilité de recyclage des eaux ,échantillonnage et caractérisation physico-chimique des rejets solides et schlamms et enfin essai de séparation gravimétrique et d'égouttage .

# CHAPITRE I – INTRODUCTION SUR LES MINERAIS DE PHOSPHATES

L'intérêt des phosphates pour l'agriculture apparaît dès la fin du 18<sup>ème</sup> siècle les réserves mondiales en minerais de phosphate sont évaluées à 103 milliards de tonnes. 90% de la production mondiale des phosphates est destinée à l'agriculture et 10% pour d'autres usages : industrie chimique et industrie pharmaceutique.

Les phosphates naturels comprennent plus de 200 espèces minéralogiques (A.Fisher1973), mais les plus abondamment appartiennent à la famille de l'apatite, (E.Raguin.1961). Des concentrations importantes sont connues dans des contextes intrusifs, mais le minéral apatite est tout aussi présent dans les roches éruptives et métamorphiques. Le milieu sédimentaire reste, tout fois et de très loin, le domaine des grandes concentrations phosphatées qui sont connus dans les sédiments de presque toutes les périodes géologiques (P.Nicoloni,1990).depuis le Précambrien jusqu'au Cénozoïque.

Les phosphates sont définis selon A .Faucoult. et J.F .Raoult (1995) comme:

- Un minéral caractérisé par le radicale  $(\text{PO}_4)^{3-}$ . Parmi les nombreuses espèces notons l'apatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ , la turquoise bleu  $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4\text{OH}_8\text{H}_2\text{O}$ , la vivianite bleu  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$ , la monazite  $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th}) \text{PO}_4$ , et des produits d'altération des gites uranifères (autunite  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2$  ou uranite - chalcocite  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ ).
- Une roche sédimentaire marine (sauf la phosphorite (la phosphorite est une roche sédimentaire des cavités karstiques) contenant des minéraux phosphatés sous forme amorphe ou cryptocristalline (collophanite), ou sous forme finement cristalline (variété proche de l'apatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ , en quantité suffisante pour être exploitée. Ces phosphates dérivent de l'apatite des roches magmatiques mise en solution dans la mer fixée par des végétaux et des animaux (par exemple l'os avec 60 % de phosphate, dents avec 90 %, excréments...). A leur mort, de nouvelles solutions de phosphates sont formées, et elles peuvent soit précipiter directement, soit plus souvent épigéniser tout ou partie des sédiments. Les roches phosphatées se forment sur le plateau continentale, ou à son rebord (entre 50 à 200 m) ; elles contiennent souvent de la glauconie et des éléments détritiques quartz ( $\text{SiO}_2$ ) par exemple. Ou encore des hydrocarbures. Les phosphates se trouvent également dans de nombreuses roches dans le cas des minerais oolitiques à ciments phosphatés.

## I.1– NOMENCLATURE DES ROCHES PHOSPHATEES

Dans une optique utilisation internationale, la classification des phosphates a tenu compte des définitions du « Glossary of Géology » publié en 1974 par l'American Geological Institute pour retenir l'emploi des termes « phosphorite » et « phosphatite » avec les significations suivantes :

- Phosphorite : est une roche sédimentaire composée en majorité de minéraux phosphatés pouvant être indifféremment des phosphates de Ca, d'Al, et de Fe ;
- Phosphatite : roche sédimentaire composé en majorité de minéraux de la série de l'apatite.

Compte tenu de la variété des teneurs en  $P_2O_5$  dans les roches, une teneur de 18 % a été choisie arbitrairement comme limite entre les roches considérées comme minerai de phosphate ou roche stérile. Dans ces conditions, on ne peut utiliser les termes phosphorite ou phosphatite que pour les roches à des teneurs en  $P_2O_5$  supérieur ou égale à 18 %. Si la teneur est inférieure à 18 % en  $P_2O_5$ , la nomenclature pétrographique à utiliser en premier lieu est celle qui concerne la fraction non phosphatée.

## I.2 – TYPES DE GISEMENTS DE PHOSPHATE

Dans l'écorce terrestre sous différents types de gisements le phosphate peut être rencontré, selon l'origine et le mode de formation on distingue : Les gisements sédimentaires, les gisements d'origines ignées et les guanos.

- Les gisements sédimentaires (d'après V.Smironov , 1982) ce sont les gisements de plate – forme et géosynclinaux.

Les gisements de plate – formes les plus remarquables sont associés aux synclises, quand aux gisements géosynclinaux se sont mis en place sous un climat aride. Les faciès sédimentaires revêtent trois principaux types : les granulo ou pseudoolithes, les nodules les débris organiques (coprolithes et fossiles phosphatisés). Les gisements sédimentaires sont plus importants en nombre et en volume.

- Les gisements d'origine ignée : les roches les plus fréquentes sont la syénite, néphilinite, carbonatites. Ces gisements moins importants que les précédents. L'apatite qui se trouve sous une forme disséminée, est souvent associée avec des minéralisations en Cu, Nb, Ta, Zn, ... etc.

- Les gisements de phosphates sédimentaires de type guano : On les trouve dans les îles de Pérou, gisement de faible réserves par rapport aux autres gisements, dont l'épaisseur de la couche peut atteindre 35m leur genèse est encore mal comprise.

## I. 3– GENESE DES PHOSPHATES

Il y'a plusieurs diverses théories concernant la genèse des phosphates, une partie adopte une origine organique et l'autre partie adopte une origine non organique.

Selon la théorie d'origine non organique, les phosphates sont le résultat de la précipitation des composés phosphatés directement de l'eau de mer. Par contre selon la théorie d'origine organique, la précipitation des organismes est indispensable pour la formation des phosphates.

La théorie de l'auteur A.V.Kazakov fait un progrès sur l'origine des phosphates , cette théorie est basée sur les résultats de la campagne océanographique. Ces travaux ont montré que la teneur en  $P_2O_5$  de l'eau de mer augmente avec la profondeur( le maximum vers 500m) et Le minimum se trouve dans la zone de photosynthèse, où le phosphore est consommé .

Le phosphore précipite chimiquement sur les bords du plateau continental après y avoir été amené par des courants froids ascendants (fig. 1). Avec l'échauffement des eaux, il y'a augmentation du pH et diminution de la pression partielle en  $CO_2$ . Cette diminution amène à la précipitation du  $CaCO_3$ , puis des phosphates. Donc, la sédimentation chimique des phosphates ne peut se produire dans les régions profondes, la où la pression du  $CO_2$  est trop élevée, ni dans la zone de photosynthèse, où le phosphore est consommé. C'est donc entre 50 et 500 m environ que précipitera le phosphate (A.Daasa,2006).

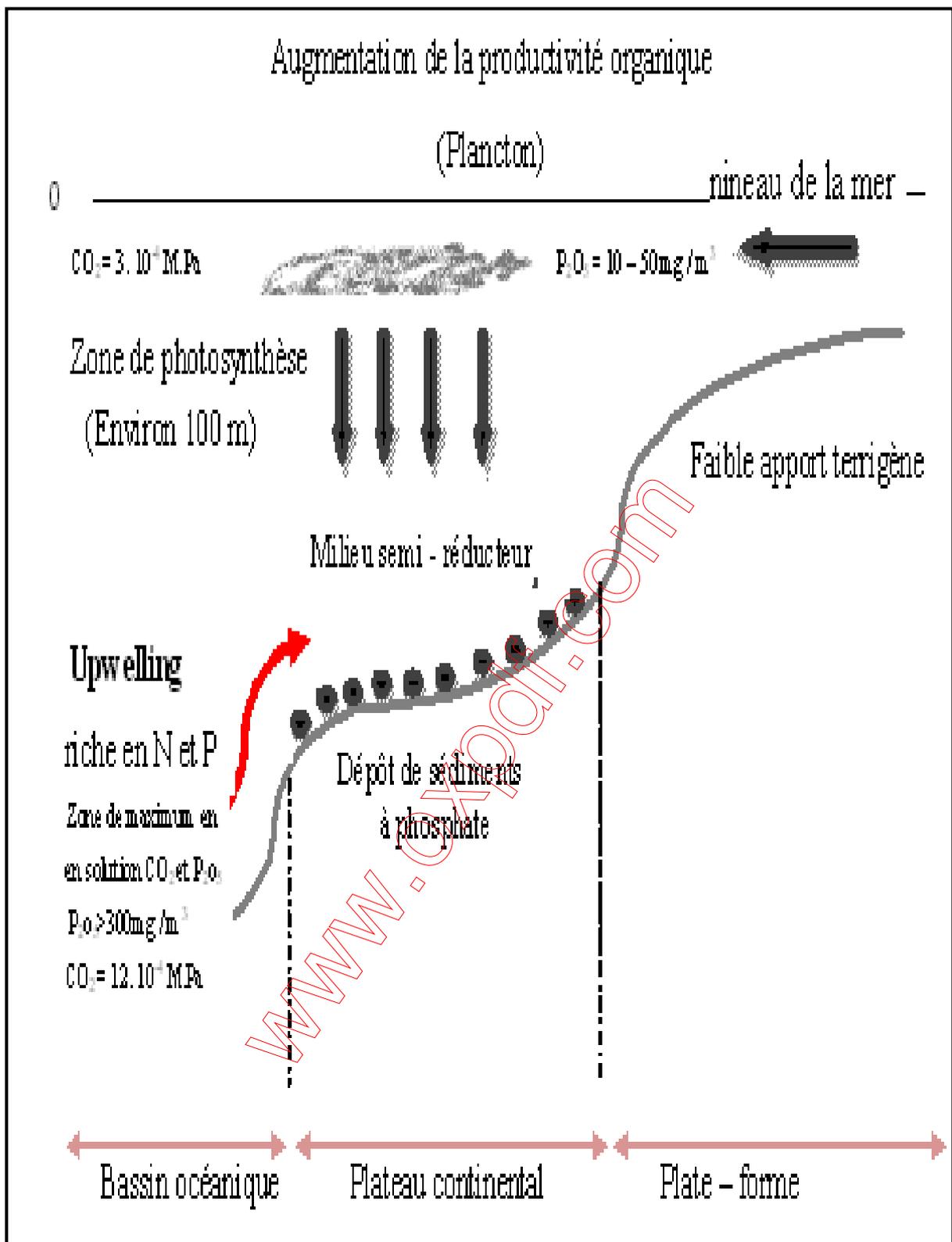


Figure.1 – Schéma de la phosphatogénèse selon Kazakov A.V (1930)

#### I. 4- ECONOMIE DES PHOSPHATES

Les phosphates sont classés 11<sup>ème</sup> sur les 53 substances naturelles commercialisées dans le monde, ce qui représente une valeur de 3 – 4 milliards de dollars par an.

Les concentrés marchands produits dans le monde sont essentiellement des phosphates de Calcium, c'est-à-dire des phosphatites. La teneur des minerais ou des concentrés est évaluée en  $P_2O_5$  % ou en équivalent en phosphate tricalcique  $Ca_3(PO_4)$  « TCP » et que l'on appelle aussi TPL (Triphosphate of lime), ou BPL (Bone phosphsate of lime). La conversion  $P_2O_5$  – TPL – P est donnée ci – dessous :

$$P_2O_5 \cdot 2,1852 = TPL \text{ et } P \cdot 2,2914 = P_2O_5. \longrightarrow (1)$$

Les phosphates vendus ne titrent guère moins de 63 % TPL. Les concentrés standards commercialisables font en moyenne 70 – 72 % TPL (type de concentré de Khouribga au Maroc). Il y'a quelque types de concentrés de phosphates sédimentaires très riches : Sénégal (Taïba), Togo : 78 – 79 % TPL. Les concentrés de phosphates magmatiques, qui s'enrichissent bien, atteignent un titre élevé qui dépasse 80 % TPL.

La production mondiale de phosphate a atteint 145 millions de tonnes En 2008 (Source statistique de l'IFA 2008), sept pays détiennent la production:

- U.S.A : 45.416 millions de tonnes;
- Chine : 30.230 millions de tonnes;
- Maroc : 27.637 millions de tonnes;
- Russie : 10.841 millions de tonnes;
- Tunisie : 08,00 millions de tonnes;
- Jordanie : 05.545 millions de tonnes;
- Syrie : 03.678 millions de tonnes.

Les cinq premier pays exportateur de phosphate dans le monde (Source IFA 2008) sont :

- U.S.A : 14.122 millions de tonnes;
- Jordanie : 03.604 millions de tonnes;
- Série : 02.992 millions de tonnes;
- Russie : 02.718 millions de tonnes;
- Algérie : 01.685 millions de tonnes.

L'intérêt des phosphates, dont plus de 80% de la production mondiale est utilisée par l'agriculture, ou le besoin incontournable de phosphore pour la croissance et l'existence de la végétation, justifié par la non existence de produits de substitution.

Les engrais sont essentiellement caractérisés par :

- Par les trois éléments principaux : Azote (N), phosphore (P ou  $P_2O_5$  selon les pays), potassium ( $K_2O$ ).
- Par les éléments secondaires : soufre, magnésium (MgO).
- Par les éléments traces : Zn, Cu...

La qualité d'un engrais phosphaté est évaluée par des mesures de solubilité et l'absence de l'élément pénalisant tel que le Cadmium et autres métaux lourds (Zn, Pb, U,...)

L'acide phosphorique est de formule chimique  $H_3PO_4$ , indispensable pour certaines industries, l'acide phosphorique est obtenu après un traitement de phosphate de calcium par l'acide sulfurique, généralement stocké et vendu sous forme de solution, il peut également être préparé par calcination de la vapeur de phosphore, puis par traitement de l'oxyde résultant avec de la vapeur. L'acide est très utilisé en laboratoire, car il résiste à l'oxydation, à la réduction et à l'évaporation. L'acide phosphorique est, entre autres, employé comme ingrédient de boissons non alcoolisées et de ciments dentaires, comme catalyseur, dans les métaux inoxydables

Les phosphates d'usage non agricole sont utilisés dans la métallurgie (alliage), l'industrie chimique (pesticides, détergents), pétrolière (lubrifiant), alimentaire et pharmaceutique.

En plus les phosphates bruts renferment, outre du phosphore, raison de leur exploitation plusieurs éléments de grande valeurs à titre d'exemple : l'uranium se trouvant généralement les phosphates sédimentaires en très faible teneur ( partie par million ) quelle que soit leur localisation géographique. L'uranium des phosphates peut être récupéré à l'occasion de la fabrication d'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ), 12% de l'uranium utilisé dans le monde provenait du traitement des phosphates.

## **CHAPITRE II – ANALYSE DE LA GEOLOGIE DU GISEMENT DE PHOSPHATE DE DJEBEL- ONK**

### **II.1-GEOLOGIE REGIONALE**

#### **II.1.1-Situation géographique des gisements de Djebel-Onk**

Le gisement de Kef Essennoun, principale source d'alimentation de l'usine de traitement, fait partie du bassin phosphaté de Djebel Onk. Qui se situe au Nord-est de l'Algérie à environ 100 Km au Sud de la ville de Tébessa et à 20 Km de la frontière algéro-tunisienne (Fig. 2), à l'extrémité orientale des monts des Nememcha. Ce bassin minier renferme 5 gisements de phosphate qui sont:

- Gisement de Djemidjema;
- Gisement de Djebel Onk Nord;
- Gisement de Bled El Hadba;
- Gisement de Oued Betita;
- Gisement de Kef Essennoun.

Le gisement de Kef Essennoun est situé sur le flanc méridional de l'anticlinal de Djebel Onk, à environ 09 Km au Sud-Ouest de la ville de Bir el Ater.

Le Djebel Onk se présente sous forme d'un massif calcaireux de 20 Km de long qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya et qui, en fait, constitue la limite des hauts plateaux constantinois et du domaine saharien ou prés saharien. Il se situe donc à la limite mais dans la zone des climats subdésertiques. Il en résulte une végétation pratiquement inexistante.

La pluviométrie se caractérise par des taux très faibles et le réseau hydrographique est rarement mis à contribution. La violence des pluies périodiques provoque des ruissellements torrentiels qui inondent et peuvent changer l'ancienne allure de quelques ravins. Les vents de sables sont fréquents en saison sèche.

La population est peu dense. L'installation du complexe minier à Bir el Ater; a contribué à l'agrandissement et au développement de la ville ce qui a engendré l'amélioration de la situation économique de la population.

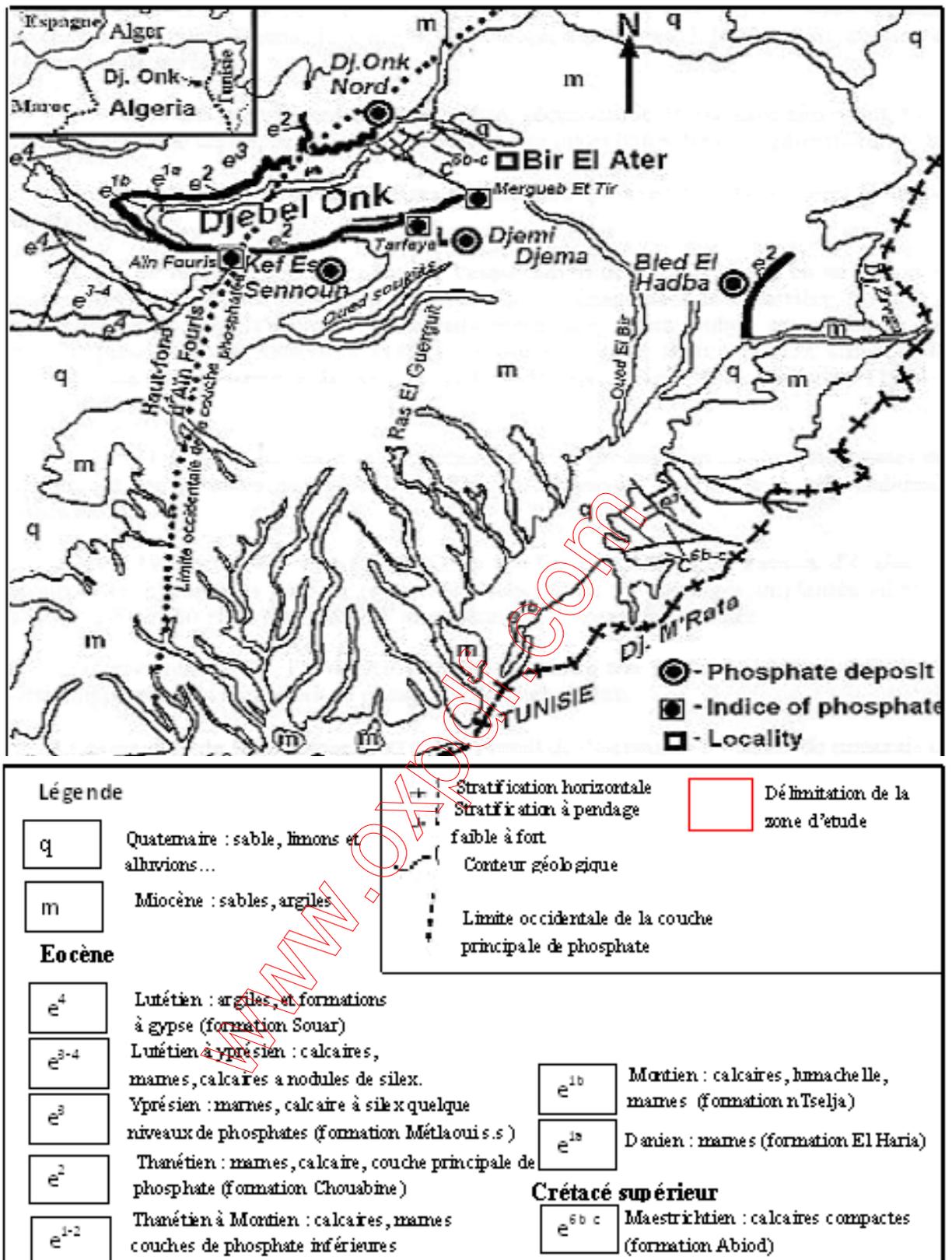


Figure.2 – Carte de situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk (D'après G.P .Prian et Ph.Cortiel , 1993)

## II.1.2-Historique et méthodologie des recherches géologique au Djebel Onk

La première découverte des phosphates algériens a été réalisée par Ph.Thomas (1873) à Boghari, vétérinaire de l'armée française, passionné par la géologie.

Entre 1906/1907, L.Joleau a découvert le gisement de Djebel Onk avec la mise en évidence de deux couches phosphatées dans un ravin de l'Oued de Djemi-Djema au Sud de Djebel Onk.

En 1912, M.D.Dussert a présenté les premières informations sur les gisements phosphatés algériens avec des coupes lithologiques détaillées des gîtes de la zone de Djebel Onk.

En 1930 La Compagnie des Phosphates de Constantine a débuté les travaux de prospection systématique et avait confirmé l'existence des réserves considérables, ce qui a donné naissance à la société de Djebel Onk (S.D.O) en 1936.

En 1939, Laffitte et Cayeux ont procédé à la reconnaissance géologique régionale des gisements.

En 1951, Visse a étudié les phosphates du Dj. Onk et a calculé les réserves. Selon ses calculs, les réserves étaient de 600 millions de tonnes ; dont 110 millions de tonnes appartenant à l'anticlinale de Djemi-Djema. Il a établi la carte géologique au 1/10000 ainsi que les coupes géologiques de la région.

En 1960, des campagnes de prospection géophysique et radiométrique ont été faites. Durant cette même année, le projet d'exploitation des phosphates devenait prioritaire.

En 1963, les études ont été reprises par G.Ranchin qui avait établi des cartes géologiques à l'échelle 1/5000.

En février 1965 démarra l'exploitation de Djemi-Djema en se basant sur les données prévisionnelles de Servajean. suite à l'aménagement de la carrière, l'intérêt porté à la géologie de Dj. Onk s'accroît. Ces terrains devenaient, alors, l'objet de nombreux travaux, parmi lesquels ceux de Kettouche (1970), Berthiaux (1970), Bentin (1973), Chabou (1975), Ousseddik, Ousmer et Belkhedim (1979), Berats et Fur (1982), Lehotsky (1983/1984), Mezghache (1991).

De 1971 à 1974, la SONAREM (Société nationale des recherches géologiques et minières) a relancé les travaux de recherche et de prospection sur les phosphates de l'Est algérien en s'appuyant sur un levé aéro-radiométrique (Rudowez).

Entre 1985 et 1987, l'ENFERPHOS (Entreprise nationale du fer et du phosphate) a confié à l'EREM (Entreprise de recherches minières) des travaux d'évaluation des ressources

en phosphates dans la région de Djebel Onk; 97 sondages implantés en réseau de maille de 300 x 150 et de 600 x 300 m totalisant 10732 m ont été réalisés.

En novembre 1989, l'EN .FERPHOS fait connaître son cahier de charge pour des études de développement du complexe de phosphate de Djebel Onk.

En avril 1992, un contrat a été signé entre l'ENFERPHOS et le consultant BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières ) sur la compilation des éléments techniques et économique permettant d'arrêter un projet de développement de l'exploitation des gisements de Djebel Onk (BRGM, 1993).

## II. 1-3– Stratigraphie

C'est Visse en 1952 qui a établi la stratigraphie de la région de Djebel Onk .

La série sédimentaire affleurante est caractérisée par une succession stratigraphique allant du Crétacé Supérieur (Maestrichtien) à l'Eocène moyen (Lutétien), surmontée par une série sabloargileuse continentale datée du Miocène et du Quaternaire (Figure. 2et 3)

– Crétacé : Les sédiments les plus anciens au cœur de l'anticlinal de Djebel Onk sur le plan tectonique très accidentés. Seuls les dépôts du Maestrichtien y affleurent.

Maestrichtien : Au cœur de Djebel Onk, Les sédiments de cet âge, sont représentés par des calcaires à silex et des intercalations de marnes (de 5 à 10 m). Ils représentent à leur partie supérieure, une surface taraudée, rubéfiée, facilement repérable dans la topographie.

– Paléogène : Ce sont des sédiments marins représentés par des calcaires, des phosphates et de gypse, dans la région, le Paléogène atteint d'assez grandes épaisseurs de 350 m, les variations lithologiques et les restes des organismes ont permis d'en faire les subdivisions stratigraphiques suivantes :

Danien : Il est différent du Crétacé, il est conventionnellement adopté au contact calcaire Maestrichtien série argilo – marneuse. Cette différence lithologique est présentée par une subdivision en deux séries distinctes, où on note la séparation entre le Danien supérieur et le danien inférieur, dont l'épaisseur totale du danien est d'environ 100m :

Danien inférieur : *se sont* des argiles marneuses schisteuses, de couleur grise foncée à brun vert, intercalé par des marnes dures et irrégulières. L'ensemble est traversé par des filons de gypses de différentes orientations.

Danien supérieur : Il est représenté par des calcaires durs blancs, très fins souvent à cassure conchoïdale, avec des intercalations de marnes tendres, argileuses et schisteuses. Dans la partie supérieure du Danien, on note la présence d'un banc caractéristique de 1 à 2 m d'épaisseur, formé de calcaire beige à lumachelle surmontés par des marnes en plaquettes

blanches. C'est dans cet étage qu'apparaissent les premiers minces niveaux (10 à 30 cm) de marne phosphatée.

Montien : Cet étage est marqué par la présence d'une série de calcaire, calcaires détritiques, calcaires à lumachelle avec des intercalations de marne et dolomie, ces sédiments se caractérisent par une absence ou une faible quantité de silex. Les huîtres sont abondantes, en bancs gris à noire.

Thanétien : C'est l'horizon porteur de la minéralisation. Il est visible sur le flanc de l'anticlinale de Djebel Onk avec une épaisseur de 72 m. Il se subdivise en deux parties :

Thanétien inférieur : Caractérisé par des schistes marneux irrégulièrement intercalés de calcaire. Ces schistes sont de couleur grise foncé à noir.

A la base, on trouve des conglomérats à *gastéropodes*, et des minces passées phosphatées et d'une série d'intercalation de marnes à faunes caractéristiques riche en matière organique. Dans la partie supérieure du Thanétien inférieur apparaissent des intercalations phosphatées atteignant jusqu'à 2 m d'épaisseur, et très riche en matière organique surmontées par des calcaires et des marnes à gros *gastéropodes*. La puissance varie de 30 à 40 m

Thanétien supérieur : il débute par un niveau dolomitique à *gastéropodes*, sous – jacent à une couche phosphatée de 30 m d'épaisseur en moyenne à Djebel Onk et à Bled El Hadba, et qui diminue jusqu'à la disparition vers le Nord, l'Ouest et le sud de ce gisement se termine généralement par un niveau lumachellique.

La limite entre le Thanétien et l'Yprésien est obtenue seulement par le changement du faciès phosphaté à celui de calcaire marneux d'une épaisseur de 0 à 50 m.

Yprésien : Il repose directement sur les dépôts du Thanétien et affleure dans la carrière de Djemidjema et au Nord du Djebel Onk, il a une épaisseur de 32 m, on note :

Yprésien inférieur : représenté à la base, par des conglomérats marquant la limite avec le Thanétien et sous – jacent une couche à alternance de calcaire, marne, dolomie et de la couche phosphatée. On note la présence de couches minces de silex dans les calcaires. L'épaisseur moyenne de l'Yprésien inférieur est de 30 m au maximum.

Yprésien supérieur : constitué par l'alternance de calcaires, calcaire dolomitique et marnes, sa puissance est de 2 à 3 m.

Lutéien : Les formations de cet étage recouvrent en concordance les séries Yprésiennes ; elles sont répandues dans la région de Djebel Onk, on distingue :

Lutéien inférieur : il est marqué par un changement de faciès où les marnes remplacent le calcaire, il est assez riche en matière organique.

Lutétien supérieur : il est représenté par une alternance de marnes blanches et d'argiles, il est caractérisé par la présence de gypse, son épaisseur peut atteindre 100 m, ce type de faciès termine le cycle de la sédimentation marine Tertiaire inférieure (Paléogène).

– Néogène : est caractérisé par un faciès sabloargileux de type continental d'une puissance avoisinante à 600 m.

Miocène : La datation des roches de Miocène a été faite grâce à la découverte des rares fossiles (*Helix Tissiti*), il est formé essentiellement par des sédiments représentés par des roches terrigènes (conglomérats, grès, sables, argile) et des schistes argilo-gréseux. Tandis que les sédiments de la région de Bled El Hadba sont composés de nombreux fragments silicifiés ; le Miocène est subdivisé en trois unités de bas en haut :

Miocène inférieur : débute par des conglomérats, sables à gros grains présentant une épaisseur d'une dizaine de centimètres à quelque mètre, surmontés par des sables blancs avec intercalation d'argile bruns, ou gris beige, sa puissance atteint plus de 200 m.

Miocène moyen : il est constitué d'argile marron, d'argile à structure schisteuse, brune, la puissance est d'environ 100 m.

Miocène supérieur : on constate la présence des sables, grès à blanc de graviers, le matériel est très grossier nettement stratifié.

– Quaternaire : Les formations Quaternaires couvrent de vastes surfaces dans la région ; elles sont essentiellement représentées par des éboulis, de dépôts sableux éoliens, fluviaux et des dépôts alluviaux.

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

Figure.3 – Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk – Algérie orientale –  
(D'après G.Ranchin, 1963)

#### II.1.4 – Tectonique régionale

La région de Djebel Onk appartient à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien (G.Ranchin, 1963). La série supérieure à l'Eocène du bassin de Djebel Onk – Gafsa – Méthlaoui est structurée en une suite d'anticlinaux et de synclinaux dissymétrique, généralement faillés dans leurs flancs, d'axe le plus souvent SW – NE, et décrochés par des accidents transverses N 120° à N 140° E (Figures. 4 et 5).

Les anticlinaux de Djebel Onk, Djebel Djemi – Djema et Oued Bétita sont localisés à la bordure de la flexure Sud – Atlasique qui correspond à une zone d'affleurement entre le domaine Atlasique mobile et la plate – forme Saharienne stable, ils appartiennent à la branche Nord de la flexure Sud Atlasique de direction E – W.

L'anticlinal de djebel Onk prolonge des monts de Nememcha jusqu'à l'Est en périclinale sous les formations du Miocène d'une direction E – NE, cet anticlinal est asymétrique au flanc méridional avec un pendage de 80° et flanc septentrional de 10°

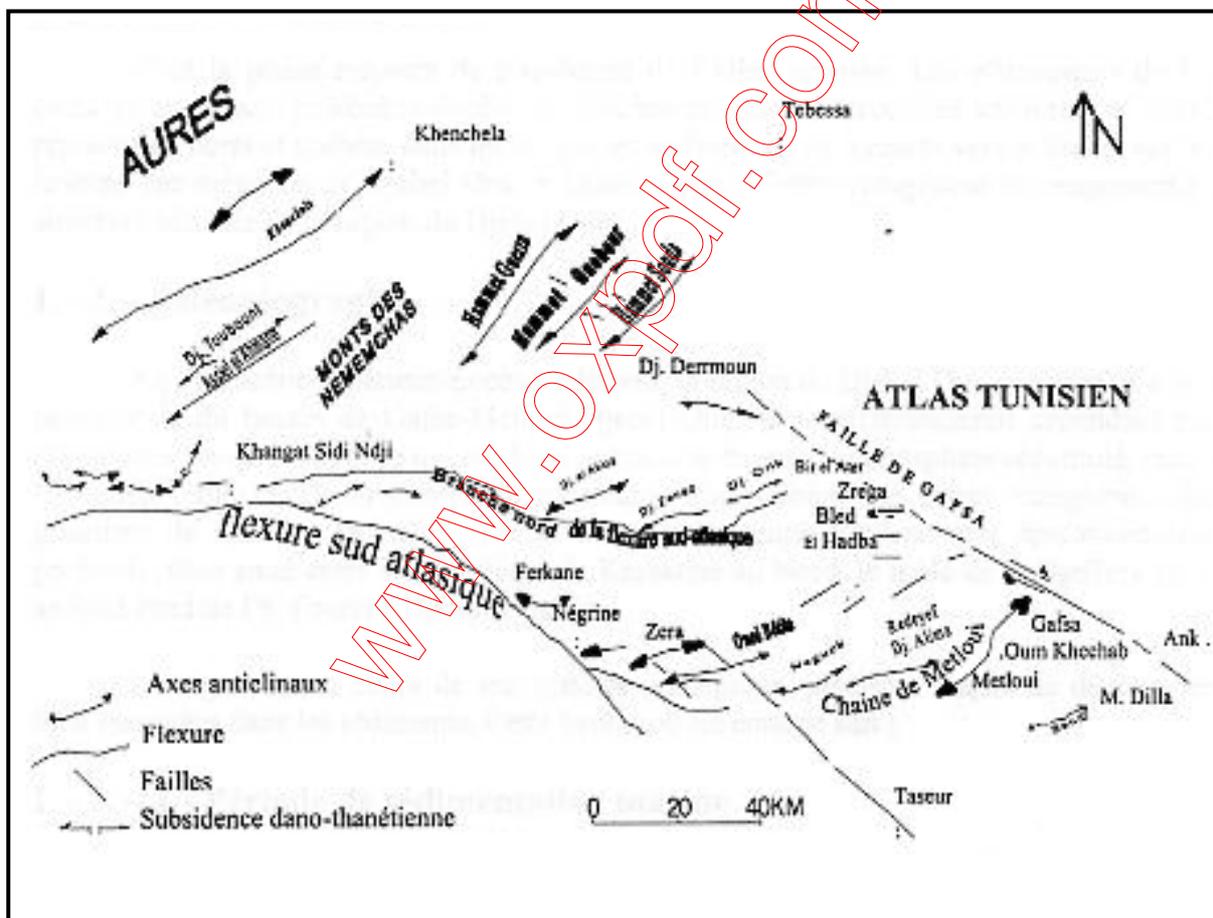


Figure.4 – Carte structurale de la région de Djebel Onk à l'intérieur du bassin de Gafsa – Méthlaoui( D.Aissaoui, 1984).

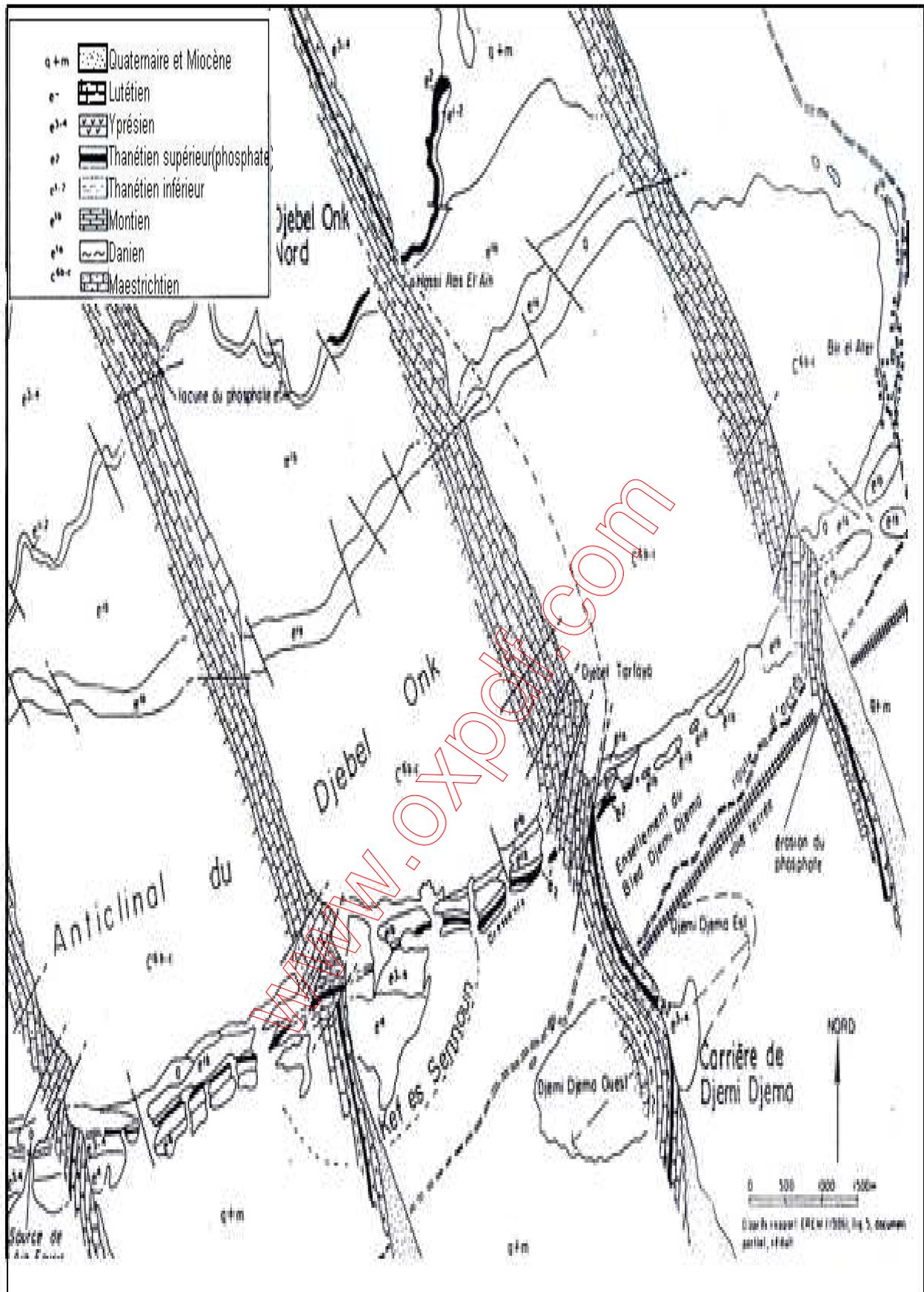


Figure. 5 – Coupes stratigraphiques et structurales des flancs Nord et Sud de Djebel Onk (EREM, 1986).

d'ampleur très inégales ont marqué leur empreinte sur la région de Djebel Onk:

- Tectonique Paléocène – Eocène (syngénétique) : Une phase compressive NW – SE contemporaine à la sédimentation Paléogène, s'exprime par des ondulations et des failles syngénétiques. Cette tectonique précoce induit des lacunes de sédimentation dans la série Paléocène – Eocène 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 – Eocène moyen et anté – Miocène : Contemporaine à l'émersion de la série au Lutétien supérieur, La phase majeure des plissements des Aurès et des déformations distensives transverses (N120° à N150°) induisant un début de destruction de la série Crétacé Supérieur à Eocène en petits horsts et grabens, allongés suivant la direction N170°E qui vont être affectés par la pénéplanation 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'apparaît l'anticlinal de Djebel Onk (H.Mezghache et al, 2000).

- Tectonique tardi – Miocène, post – Burdigalienne, à Pliocène – Pléistocène : C'est la phase majeure du plissement de l'Atlas Tunisien. Les plissements de la série Crétacé supérieur – Paléocène – Eocène et Miocène en grandes structures antiformes et synformes jouent en horsts et grabens dans les structures antérieures ; ils forment vers le Sud et sur le flanc inverse des méga plis de Djebel Onk et Djemidjema (comportement en dressant). Cette tectogénèse est responsable de la structure actuelle de la région de Djebel Onk.

#### II.1.5 - Paleogeographie

Au paléocène supérieur – Eocène inférieur, la région de Djebel Onk appartenait à la partie occidentale du bassin de Gafsa – Mélaoui – Djebel Onk. Il se différencierait cependant par une subsidence plus marquée, ce qui explique le tonnage énorme de phosphate accumulé, mais aussi les teneurs moyennes en phosphates tricalcique plus faible que celle enregistrées dans le gisement de Mélaoui (G.Ranchin, 1963). Ce sillon, occupé par une mer épicontinentale peu profonde, était situé entre l'île ou dôme de Kassarine au Nord, le môle de Djéffera au Sud et haut fond de Djebel Fouris à l'Ouest (Figure.6).

La région a connu au cours de l'histoire géologique de la région, plusieurs étapes de développement bien marquées dans les sédiments :

– Période de sédimentation marine : Cette période de sédimentation qui débute à la fin de développement du bassin géosynclinal couvrant l’Afrique du Nord et allant du Maestrichtien à l’Eocène supérieur.

Le Maestrichtien se caractérise par une subsidence lente et une sédimentation calme. A la limite entre le Maestrichtien et le Danien, on note un changement de faciès, précurseur de mouvements orogéniques mettant fin au cycle de sédimentation géosynclinal. La profondeur du bassin diminue alors d’une manière brusque, ce qui reflète dans les roches par une sédimentation argilo – carbonatée qui dure pendant tout le Danien.

Le Montien est une période de lente subsidence et de sédimentation assez calme. La mer est alors peu profonde, en masse s’y déposent les bancs d’huîtres, caractéristiques pour les eaux profondes.

Au Thanétien inférieur, la profondeur du bassin a de nouveau diminué. On a alors un apport important de substance argileuse et des sédiments argilo – marneux qui indiquent une fermeture progressive du domaine de sédimentation et une tendance régressive de régime marin. Par contre le Thanétien supérieur est caractérisé par un apport considérable de sédimentation phosphatée qui témoigne d’une réouverture du domaine sédimentaire et du retour des influences transgressives.

A la fin de sédimentation phosphatée principale, une phase régressive se produit à nouveau, elle est matérialisée par des remaniements de phosphate, puis localement par un horizon conglomératique à galets de dolomie formé en milieu marin sans indice de l’émersion.

La présence de dolomie est l’indice d’une saturation de l’eau de mer proche des conditions qui permettent le dépôt des faciès à évaporites. Elle souligne le caractère régressif de ces faciès phosphatés (Ranchin, 1963). Cette phase régressive est suivie régionalement par transgression Yprésienne (calcaire à silex) qui déborde largement les limites des formations précédentes. Au Lutétien, on note une lente diminution de la profondeur du bassin, ce qui a

Conduit à la formation des hauts fonds et de lagunes et au dépôt d’évaporites. Les variations d’épaisseurs, ainsi que l’homogénéité de la couche phosphatée elle-même traduisant cette paléogéographie diversifiée. Ainsi, la couche de phosphate, calée entre les marnes noires du

mur et les dolomies du toit, est la plus épaisse au niveau des gisements de Djemidjema (30 m) et de Kef Essenoun (proche de 50 m) qui caractérise le sillon subsident.

– Période de sédimentation continentale : A partir du Lutétien supérieur, les terrains s'émergent. L'Oligocène n'a pas laissé de trace du fait de l'érosion anté – Miocène. Alors que le Miocène – Paléocène fut une période d'intense sédimentation continentale marquée par les sables, les argiles et les conglomérats. Tandis que le Quaternaire se caractérise par les produits d'érosion qui se déposent sur les flancs et les vallées. Ce sont les colluvions, les alluvions et les éboulis de pente. Des traces d'une glaciation au Pléistocène de courte durée très nette sont bien conservées à Djebel Onk.

www.oxpdf.com

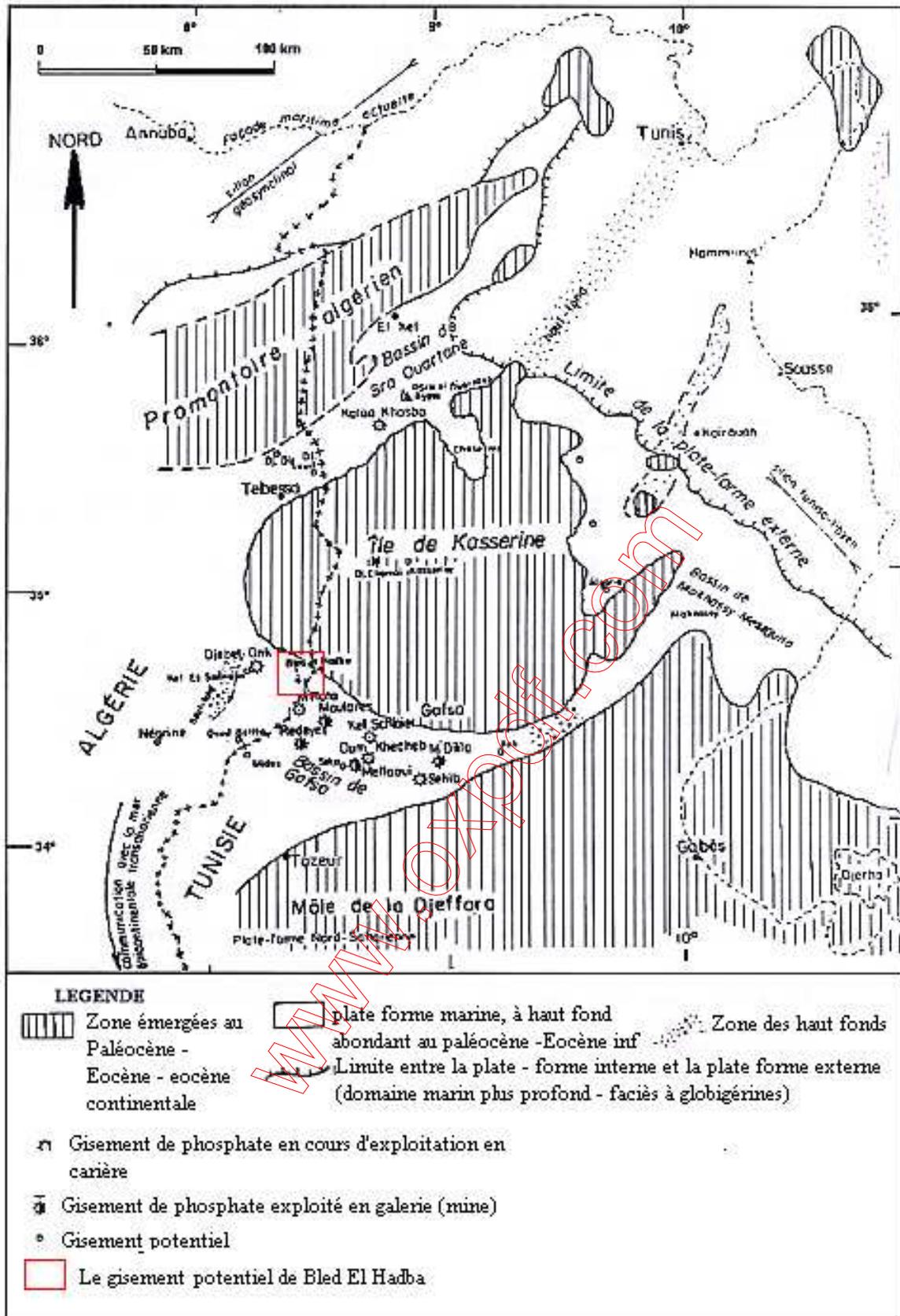


Figure.6 – Situation paléogéographique des gisements de phosphates de la région de Djebel Onk à l’intérieur du bassin phosphatés Gafsa–Métlaoui–Onk(D’après P.F. Burollet et J.L.Oudin, 1980 ; D.Fourine, 1980 ; S.Sassi, 1974 et 1980.

## II.6 – la géochimie

En plus des oxydes dosés tel que :  $P_2O_5$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $Ti_2O$ , et  $F$ . On rencontre aussi toute une gamme d'éléments en trace qui se concentrent dans l'apatite, les minéraux argileux, débris osseux, minéraux secondaires, oxydes et hydroxydes de fer.

- U, Sr, Y, et les lanthanides (La, Ce, Eu, Yb, Lu) principalement dans les phosphates et l'apatite.

- La teneur en Uranium varie de 38.7 ppm à 49 ppm avec une moyenne de 44.5 ppm.

- L'Yttrium est en faible quantité, en moyenne 226 ppm.

- Na, Ba, V, Ni, Co, Cu, Zn, Sc et Zr, surtout dans les minéraux argileux.

- Les terres rares surtout dans les débris osseux.

- Co, Mn peuvent être sous forme d'oxyde et hydroxydes accompagnés de composés de fer.

Le minerai de phosphate de Djebel Onk est constitué d'une matière phosphatée qui contient une endogangue et une exogangue (G.Duchatelle, 1975).

- La matière phosphatée : en plus de l'endogangue qui représente 5.3 % (de la matière phosphatée), celle-ci est constituée d'une fluorapatite carbonatée  $[(P_{0.88} C_{0.12}O_4)_6Ca_{10}F_2]$ , et d'un sulfo – carbonate fluoré alcalino – terreux parfois hydratée  $[(S,C,O_4)_6(K,Na,Mg)F_2nH_2O]$ . (H.Mezghache et al, 2000).

- L'endogangue est formé d'opale, quartz, illite, eau, matière organique et d'éléments accessoires. Elle contient  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  et  $SiO_2$  en très faible quantité (0.3 % du minerai en moyenne pour chaque élément).

- L'exogangue : est formée de trois types de constituants ; Carbonatés où il y'a une prédominance de dolomie, Sulfaté où on trouve des traces d'epsomite  $[MgSO_4.7H_2O]$  et Silicaté représenté par la silice libre tel que le quartz, l'opale ou la silice amorphe, le feldspath, l'heulandite ; la glauconite et l'illite.

## II.2- GEOLOGIE DU GISEMENT DE KEF ESSENNOUN

Le gisement de Kef Essennoun a connu plusieurs campagnes de prospection détaillées réalisées à l'aide de différentes méthodes. La dernière campagne est celle de l'EREM (entreprise de recherches minières) en 1987, les travaux effectués étaient : Itinéraire de prospection au 1/10000 ,travaux miniers et échantillonnage et analyse chimique.

Les itinéraires avaient pour objectif la cartographie géologique et l'établissement d'un profil lithostratigraphique du secteur.

- Les travaux de tranchées au nombre de 22 tranches Tr22 à Tr44 ont été effectués le long de toute la bande d'affleurement des phosphates. La profondeur varie de 1,0 à 2,0 m avec une largeur de 1,0 m.

- La prospection par forage carottant, a été réalisée par des sondages verticaux implantés suivant les profils de prospection de direction NO-SE à la maille 250x300 m. Au total 32 sondages, notés S-2 à S-46, ont été réalisés. Le sondage le plus profond est le S-7 (250 m), situé au Sud-Ouest du gisement. Le sondage le moins profond est le S-25 (76,1 m) implanté à proximité de la bande d'affleurement des dressants de Kef Essennoun. Ces sondages totalisaient 1650 m linéaire de forage carottant. De ces carottes, des échantillons de 1 m de longueur ont été prélevés et analysés sur le  $P_2O_5$ , MgO,  $CO_2$ , CaO,  $SiO_2$ , RI et  $FeO_3$ .

Tous les sondages ont traversé la couche phosphatée jusqu'au mur, à l'exception du sondage S-14 qui n'a recoupé que 13,5 m à cause d'un accident tectonique survenu au moment de la foration et du sondage S-12 qui est négatif; avec 151 m de sable miocène.

Durant les travaux de prospection, plusieurs types d'échantillons ont été effectués, parmi lesquels on note :

- Echantillonnage au marteau pour différentes formations. Le poids de l'échantillon est de 0,2 à 0,5 kg ;
- Echantillonnage par saignées de la couche phosphatée décapée par les tranchées. le pas d'échantillonnage est d'une façon générale de 1.0 m;
- Echantillonnage pétrographique pour des lames minces;
- Echantillonnage géotechnique qui a pour but la détermination des paramètres tel que la résistance à la compression, l'adsorption d'eau, le poids volumétrique et la densité;
- Echantillonnage technique; dans le cadre des essais technologiques trois (03) échantillons d'un poids de 250 kg ont été prélevés du secteur de Kef Essennoun.

A l'issue de ces travaux l'EREM a calculé les réserves. géologiques totales du gisement de Kef Essennoun qui ont été estimées à 317 Mt de minerai. La teneur en  $P_2O_5$  est 26,53% et

2,61% en MgO.les réserves prouvées sont 168 Mt, 50 Mt de réserves probables (zone de rupture de pente, au Sud de la table) et 99 Mt possibles dans les parties les plus profondes du gisement (rapport de l'EREM 1987).

La géologie du gisement de phosphate de Kef Essennoun est relativement simple. Seule la zone d'affleurement présente une structure géologique compliquée.

Topographiquement, la zone du gisement, située au pied du flanc Sud du Djebel Onk, constitue un plateau en pente douce vers le Sud-Ouest (Figure. 7). Au Nord, elle est bordée par les dressants du même flanc Kef Essennoun qui constitue une bande d'affleurement de la couche de phosphate, longue de 2,5 Km (Figures.7 et 8).

### II.2.1- Lithostratigraphie

Toute la série lithostratigraphique de Djebel Onk est rencontrée à Kef Essennoun (BRGM, 1993). Les dépôts du Thanétien étant le niveau porteur de la minéralisation phosphatée, il est décrit ici en détail.

- Thanétien c'est l'horizon porteur de la couche phosphatée exploitable se subdivise en deux sous étages à savoir :

- Le Thanétien inférieur représenté par une série de schistes marneux à intercalations irrégulières de calcaire. Ces schistes se débitent en fines plaquettes de couleur gris foncé. La roche non altérée est noire. Dans la partie inférieure, on note la présence d'un niveau conglomératique à Gastéropodes et de minces passées phosphatées. Dans la partie sommitale, les phosphates forment des intercalations supérieures à 1 m et des calcaires lumachelliques de Gastéropodes. Les marnes ont une épaisseur de 30 à 40 m.

- Le Thanétien supérieur représenté par une couche de phosphate de couleur grise, gris foncé ou brune, caractérisé de bas en haut par:

- Marnes noires du mur de 2 m
- Phosphate pseudoolithique à grains fins : 10 m;
- Phosphate coprolithique à stratification entrecroisée de 1,5 m;
- Phosphate coprolithique devenant plus fin à la base, de 10 m d'épaisseur;
- Phosphate coprolithique avec de nombreux galets de silex et de débris osseux, de 4 m d'épaisseur;
- Calcaire blanc avec fin niveau de silex, de 3 m.

### II.2.2 - Structure géologique

Le gisement de Kef Essennoun est situé dans le prolongement de la retombée méridionale de la flexure antiforme du Djebel Onk (Figure. 7) dont la structuration majeure est due à la tectonique post-miocène.

Le gîte de Kef Essennoun constitue une table monoclinale à pendage régulier vers le Sud (5 à 10°), (Figure. 8). il existe une zone de rupture de pente au Sud de la table. La mise en évidence de cette relative augmentation du pendage s'explique par l'augmentation de l'épaisseur de recouvrement (sable).

Les dressants de Kef Essennoun correspondent à la zone de flexure-faille du flanc inverse de la mégastructure antiforme, ou du flanc Nord de la structure synforme. Les dressants sont allongés N75°E où la couche phosphatée affleurante est subverticale ou fortement inclinée vers le Sud-Est ou le Nord-Ouest. Toute la zone d'affleurement des phosphates est considérée comme très tectonisée et d'accès difficile à l'exploitation.

### II.2.3 – Minéralisation

Le faisceau phosphaté du Thanétien supérieur est constitué comme tout le faisceau du phosphate de Dj. Onk (BRGM.1993 et H. Mezghache 2002), de haut en bas, par la dolomie phosphatée notée II<sub>T</sub>, la couche productive notée PI et les alternances marnes–phosphates–dolomie du mur, notées II<sub>M</sub>. L'épaisseur totale du faisceau varie, d'après les logs des sondages, de 30 à 53 m.

- La couche de dolomie phosphatée sommitale (minerai II<sub>T</sub>): Cette couche de phospharénorudite dolomitique a une épaisseur qui varie de 1 à 10 m, mais en moyenne elle est de 3 m. Elle a une faible teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (14 à 18%, soit 30,59 à 39,33% TPL) et fortes teneurs en MgO (6 à 11%). Le rapport CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 2 à 3,3 pour une moyenne de 2,40. Les teneurs de SiO<sub>2</sub> varient de 1 à 6%, sont dues à la présence de coprolithes noirs, entièrement silicifiés. Il s'agit de roche très dure, bien cimentée, de couleur gris-noir, à granulométrie hétérogène, fine à grossière (moins de 1 mm à plusieurs centimètres). Les faciès peuvent être assez riches en grains de phosphate, ou au contraire très pauvres. Les éléments phosphatés comprennent des grains sub-sphériques, de gros débris osseux, des dents ainsi que des gros coprolithes; ces derniers sont parfois silicifiés.

- La couche principale de phospharénites "PI" : Elle est d'environ 25 à 30 m d'épaisseur dans la moitié Nord-Est du gisement et de 22 à 24 m sur la bordure orientale du gisement. Par contre toute la moitié Sud-Est du gisement se caractérise par des épaisseurs de phosphate supérieures à 30 m, et plus particulièrement compris entre 35 et 40 m. Elle se caractérise par ses hautes teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (24 à 27% soit 52,44% à 58,99% TPL) et ses teneurs moyennes en MgO (<4%), le rapport CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est de 1,7 à 1,8.

- Le minerai du mur ( $\Pi_M$ ) :

Cette sous-couche est constituée de deux minces niveaux phosphatés qui s'intercalent dans des marnes. Le passage à la couche productive I, sus-jacente, peut être marqué par un banc de dolomie grise de 40 cm.

Ces alternances phosphatées sont de faibles épaisseurs (0 à 4,3 m) avec une moyenne de 1,25 m. ces alternances présentent des faibles teneurs en  $P_2O_5$  (13 à 15%) et de forte teneurs en MgO (8 à 10%). Ce porteur minéralisé ne présente aucun intérêt minier.

www.oxpdf.com

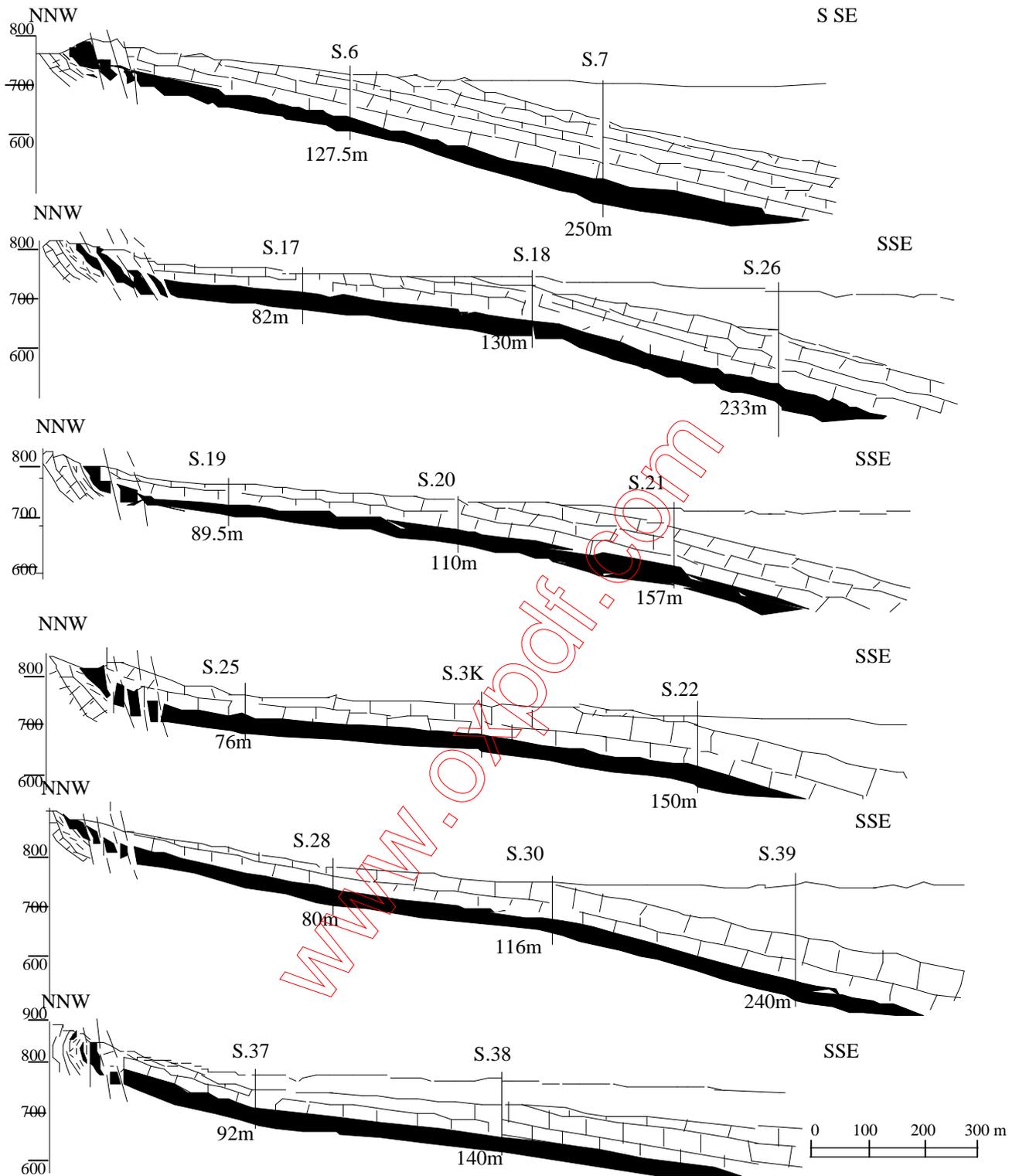


Figure.7 - Coupes géologiques sériees du gisement de Kef Essennoun Djbel Onk-Algérie orientale-(EREM,1987)

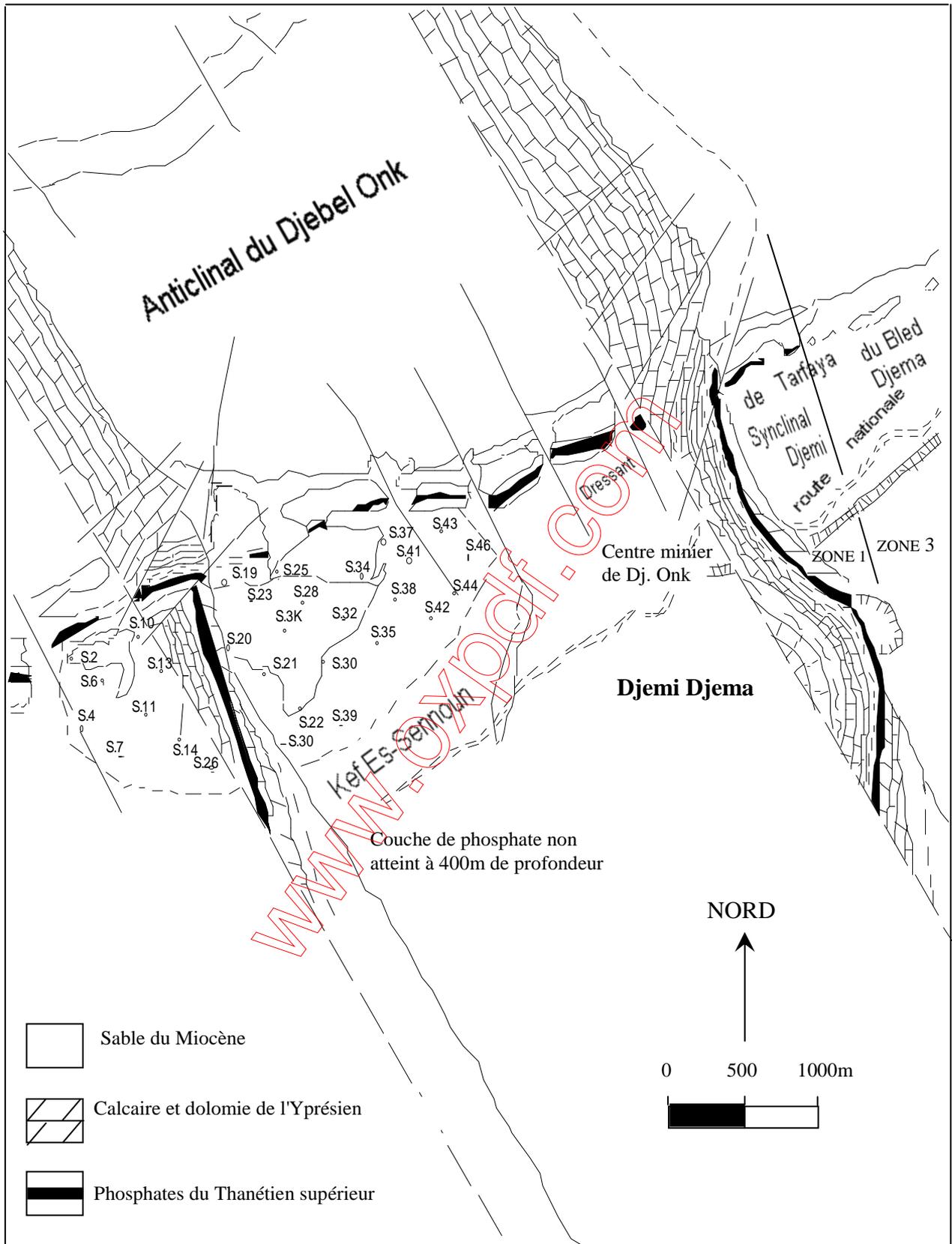


Figure.8- Structure de la couche de phosphate dans la zone de Kef Essennoun et localisation des sondages carottés (BRGM, 1993).

### II.3 - CONCLUSION :

Concernant ce chapitre on peut conclure ce qui suit :

- L'entreprise possède une base de données géologiques très importantes précisément sur le gisement de kef Essennoun ce qui permet de réaliser des études complémentaires ;
- La géologie du gisement de kef Essennoun est relativement simple, seule la zone d'affleurement présente une structure géologique compliquée,
- concernant la topographie a l'inverse des affleurements (dressant) ou la pente est très fortes, la partie située au pied des dressant appelée table représente une pente douce du nord vers le sud (5 à 10°) ;
- Sur le plan minéralisation la couche principale de phosphate est d'une épaisseur de 25 à 30 m dans la moitié nord est du gisement, de 22 à 24 m sur la bordure orientale du gisement et de 35 à 40 m dans la moitié Sud Est du gisement, cette partie se caractérise par ses hautes teneurs en  $P_2O_5$  (24 à 27 %) et ses teneurs en  $MgO$  ( $< 4\%$ ) le rapport  $CaO/P_2O_5$  est de 1,7 à 1,8 ;
- Les réserves globales exploitable du gisement de kef Essennoun sont estimées à 349 millions de tonnes (toute qualité confondue c'est-à-dire minerais hors bilan, minerais du toit de la couche et minerais du mur de la couche productive).

# CHAPITRE III-ANALYSE DE LA METHODE D'EXPLOITATION ET D'ENRICHISSEMENT DES MINERAIS DE PHOSPHATE

## III.1- METHODE D'EXPLOITATION

Actuellement Le gisement de phosphate de Kef Essennoun constitue le gîte principal exploité par SOMIPHOS filiale du groupe FERPHOS suite au déclin presque des zones en exploitation dans djebel djmijma. Ce gisement est exploité à ciel ouvert sous forme de fosse, avec un seul bord exploitable avec un cycle entièrement mécanisé. Dans l'exploitation on peut observer trois phases : Abattage c'est les travaux de foration et de tir, chargement et transport et mise à teruil

### III.1.1- Contraintes d'exploitation et réserves exploitables

Selon l'EREM : L'ensemble du faisceau phosphaté a été subdivisé en: minerais bilan, sorte I, correspond à toute la couche productive. Pour cette couche de minerai, les paramètres miniers adoptés sont les suivants :

- Teneur de coupure (dans un échantillon) 20 %  $P_2O_5$ , avec une teneur en MgO inférieure à 4,5 %;
- Teneurs limites minimales d'exploitabilité pour un panneau de calcul :  
 $P_2O_5 > 24,5 \%$  et  $MgO < 4,5 \%$
- Puissance minimale d'exploitabilité : 2 m;
- Puissance maximale des inter lits stériles et des roches phosphatées (teneur inférieure à 20 %  $P_2O_5$ ) intercalés dans le minerai I : 0,5 m à 1 m;
- Coefficient linéaire limite de recouvrement appliqué pour délimiter les réserves à extraire à ciel ouvert : 4

Les réserves exploitables sont des réserves réellement récupérables dans le gisement, dans des conditions techniques et économiques convenables à l'instant de l'évaluation. Ces réserves sont celles qui répondent aux critères du " minerai bilan"

Le calcul des réserves fut basé sur les travaux effectués par l'EREM entre 1985/1987 qui a permis de réévaluer les ressources en phosphate de la région de Djebel Onk par l'expertise géologique BRGM. Il n'a été considéré comme réserves exploitables que le minerai I de la couche productive. Les réserves globales exploitables du gisement de Kef Essennoun sont estimées à 349 millions de tonnes.

Les minerais hors bilans, sorte II: teneur de coupure inférieur à 20 % et supérieur à 18%  $P_2O_5$ . D'après les travaux de l'EREM (1987) deux sous sortes de minerai, correspondant à deux couches bien individualisées, sont distinguées :

- Minerai  $II_T$ ; minerai du toit de la couche de phosphate productive I; de 0 à 10 m d'épaisseur, titrant généralement moins de 20 %  $P_2O_5$ , qui est sus-jacent à la couche de phospharénites de 30 m d'épaisseur;

- Minerai  $II_M$ ; minerai du mur de la couche productive I, correspondant à des horizons phosphatés plus marneux et dolomitiques situés dans la zone de passage entre les phospharénites de la couche I et les marnes du mur, l'épaisseur de cette zone d'alternances varie environ de 0 à 3 m, et les teneurs en  $P_2O_5$  sont très variables allant de 10 à 20 %.

### III.1.2- Critères d'exploitabilité

Le taux de découverte linéaire est considéré comme l'un des principaux critères d'exploitation au moment de l'ouverture et pendant la poursuite de l'exploitation ce dernier augmente progressivement en allant du nord vers le sud, mais aussi vers l'est, à cause de l'augmentation de l'épaisseur du recouvrement stérile (apparition de sable).

Les taux de découverte les plus faibles, varient entre 1,32 et 2, sont situés dans le Nord du gisement où le recouvrement stérile n'est constitué que par les calcaires yprésiens, affleurants. Des taux de découverte linéaire, compris entre 2 et 3, caractérisent la partie Nord de la table de Kef Essennoun.

L'apparition de la couche des sables du Miocène, ainsi que les augmentations d'épaisseur liées à la rupture de pente, rendent les taux de découverte supérieurs à 3 dans la partie Sud du gisement, peut atteindre 6,5 dans le sondage S-42.

La différence entre réserves géologiques, et réserves exploitables c'est que les réserves exploitables doivent tenir compte des dimensions (superficie) des installations de surface et des infrastructures de ces ouvrages (route et voies ferrées). Chacun de ces ouvrages doit être protégé par un stot de sécurité qui conduit à abandonner éventuellement une partie du minerai (des réserves).

Ces stots sont en fonction des conditions particulières de chaque ouvrage et de la pente moyenne des bords de fosse qui doivent rester en stabilité (les réserves des stots de sécurité sont abandonnées).

Généralement on admit une largeur de 100 m du stot de sécurité au tour des ouvrages, mais cette largeur pourra être beaucoup plus importante dans certaines zones où l'épaisseur des sables devient plus forte, ce qui risque de réduire un peu les réserves exploitables.

### III.1.3- Paramètres d'exploitation

Compte tenu des conditions géo minières du gîte (pendage et affleurement), l'exploitation du gisement se fait avec un seul bord exploitable.

- Hauteur des gradins avant éboulement : Pour le stérile est extrait par trois gradins (Figures.9 et 10) à savoir : gradin stérile 1 : d'une longueur de 1778 m et d'une hauteur qui varie de 14 à 26 m en moyenne, avec une plate forme de 50 m de largeur ; gradin stérile 2 : d'une longueur de 2130 m et d'une hauteur moyenne de 30 m , avec une plate forme de 50 m de largeur et gradin phospho-calcaire :se trouve généralement au dessus de la couche de phosphate dont l'épaisseur varie entre 05 et 07 m , se caractérise par sa faible teneur en  $P_2O_5$  (16- 20 %), et ses fortes teneurs en MgO (5-8 %), le complexe actuellement exploite Sélectivement et stocke dans une décharge appropriée pour un éventuelle enrichissement. Pour le phosphate : un seul niveau pour l'exploitation de phosphate sa longueur est de 1536m avec une hauteur qui varie de 28,5 à 30 m la plate forme est plus large que le stérile, fait entre 60 et 70 m.

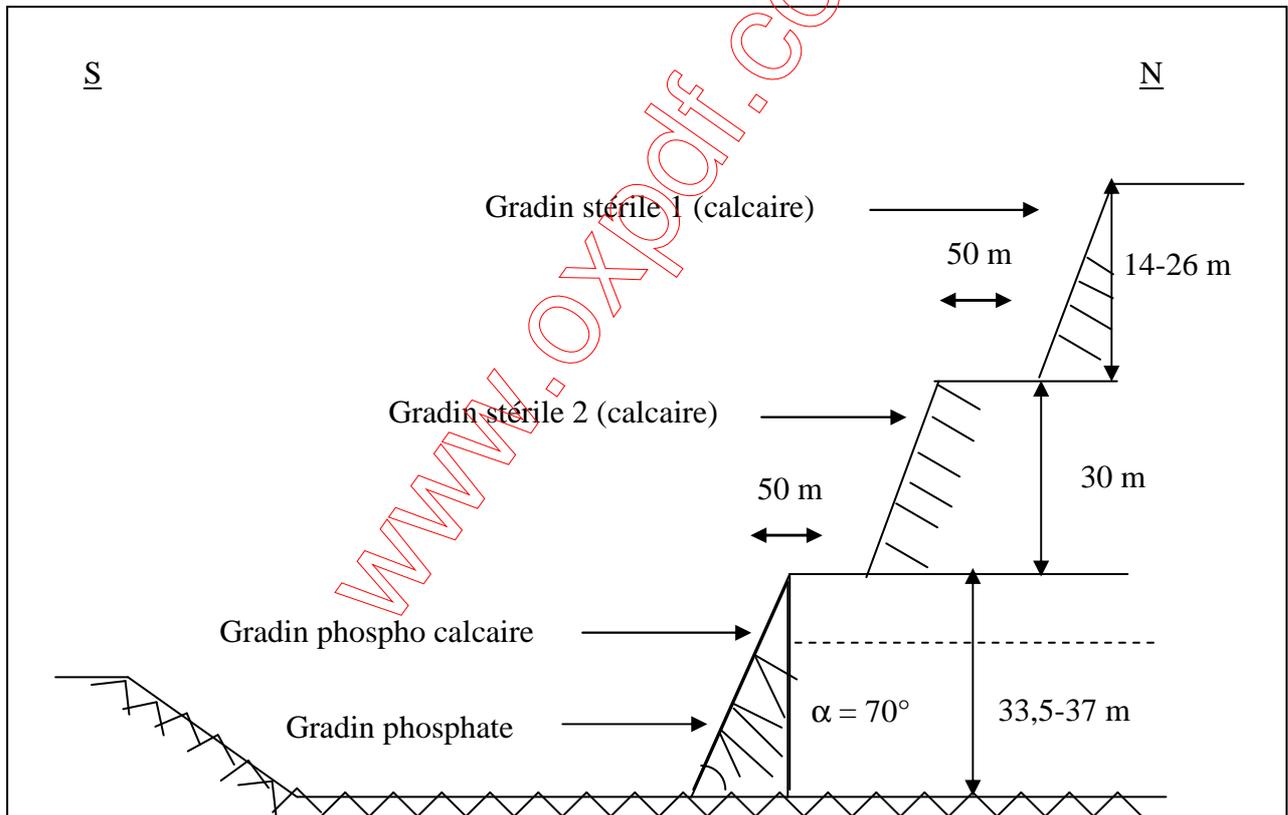


Figure.9- Coupe N-S de la carrière de Kef Essennoun avant éboulement

- Hauteur des gradins après éboulement : après l'incident qui a eu lieu vers la fin de l'exercice 2007 caractérise principalement par l'éboulement de toute la partie nord du gisement de kef Essennoun (Figure.11) en causant pratiquement la fermeture de la carrière (de la fosse) le complexe se trouvait dans l'obligation de revoir la configuration de toute la

carrière en procédant à la réouverture de la carrière tout en respectant la nouvelle disposition réglementaire (textes régissant l'exploitation minière).

Le schéma de réouverture de la carrière de kef Essenoun a imposé que la partie Est du gisement est restée sans changement c'est-à-dire un gradin de phosphate de 30 m et un gradin stérile de plus de 30 m avec la plate forme du gradin stérile qui devenait un accès au gradin phosphate après élimination de l'ancienne tranchée d'accès mais avec une excavation du sable couvrant pratiquement une grande superficie de cette zone.

Pour protéger le chantier contre le mouvement imprévisible des pierres détachées suite à l'éboulement un stot de sécurité d'une largeur de 20 m constituant une ceinture de sécurité sur toute la partie nord allant de l'Est vers L'ouest Dans la partie sud ouest ou se concentre actuellement la totalité des travaux d'exploitation les travaux de réouverture ont donné naissance à plusieurs niveaux (gradins) à savoir :

- phosphate : deux gradins d'une hauteur de 15m chacun.
- stérile : sept gradins de stérile d'une hauteur de 07 m de longueur avec une plate forme moyenne pour chaque niveau de 07m s'explique par la continuité des travaux de construction de la carrière.

Avant éboulement l'angle du talus tient compte de la stabilité des gradins. Il est de 70° pour les gradins de stériles ainsi que pour le gradin de phosphate mais après l'éboulement et avec l'augmentation des gradins issue de la nouvelle configuration et aussi les plates formes l'angle est considérablement diminué et il ne doit pas dépasser les 40 degré.

Avant éboulement la tranchée d'accès relie la carrière à l'extérieure, ses dimensions sont de 500 m de longueur, 25 m de largeur, avec une pente de 6 % mais après la configuration a change catégoriquement du fait que cette dernière a été abandonnée en faveur de création d'un niveau phosphate et le premier gradin stérile du cote Est est devenu la tranchée d'accès pour le phosphate.

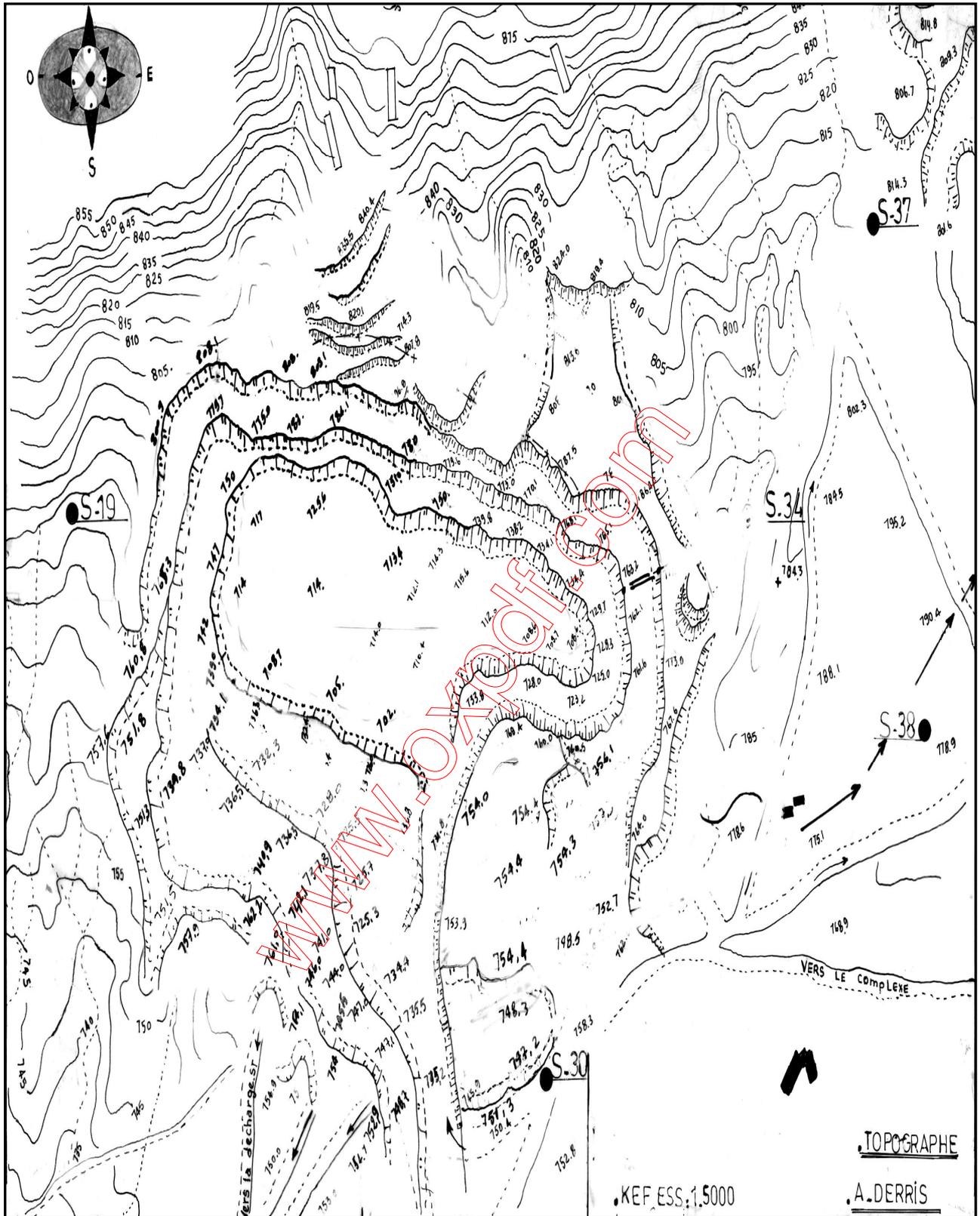


Figure.10 - carrière de Kef Essnoun avant éboulement

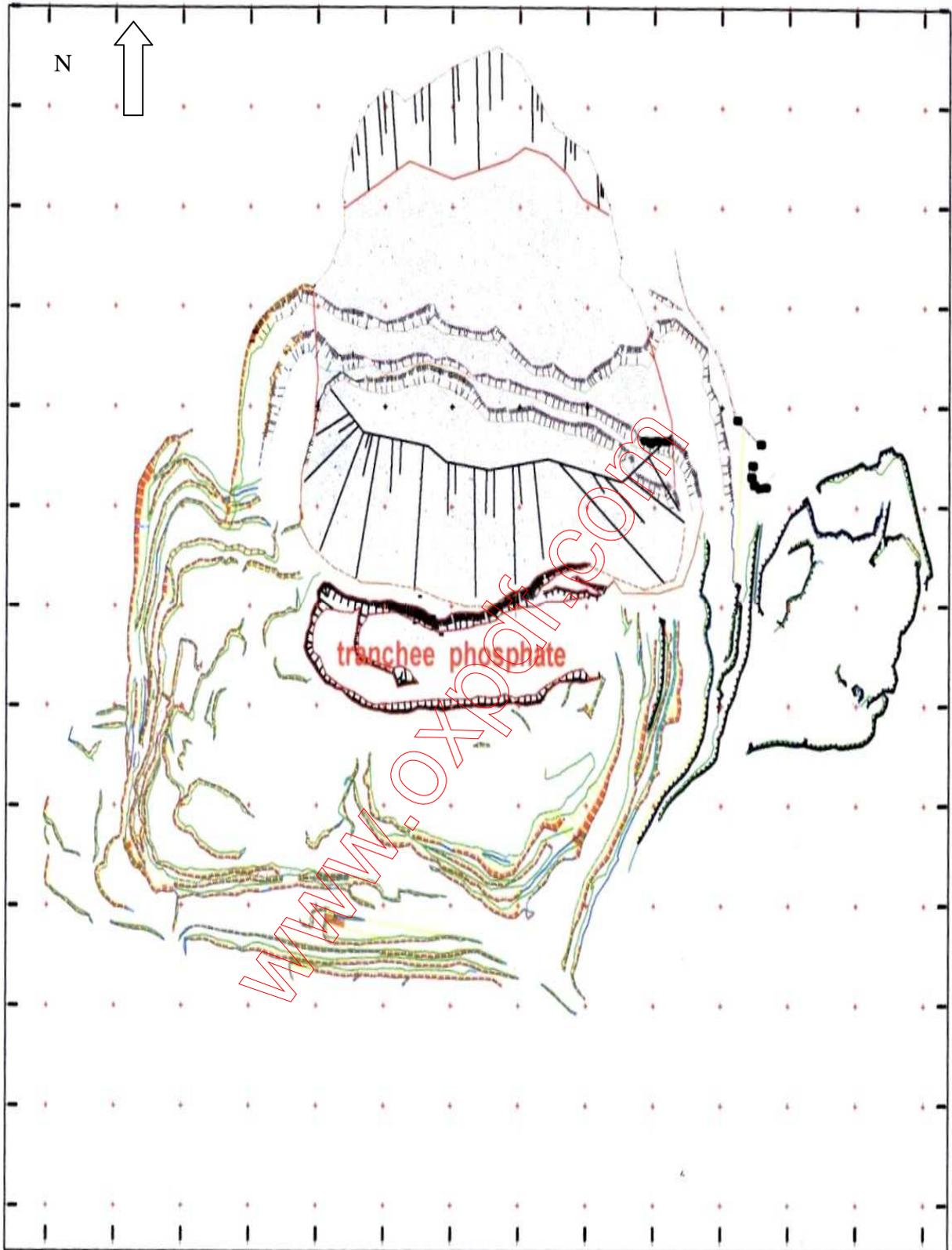


Figure.11 - carrière de Kef Essnoun après éboulement

- Travaux d'exploitation s'effectuent en plusieurs étapes successives a savoir :

- Les travaux de terrassement Consiste principalement à creuser et déplacer des matériaux pour réaliser les travaux de découverte, ouverture de piste et réalisation de banquettes. Dans ce cas des bulldozers sur chenilles (CATERPILLAR) sont indispensables avec l'utilisation des niveleuses pour l'aménagement des plates formes des foreuses.

Le rendement du bull se calcule par la formule :

$$Q = 3600 \cdot T \cdot V \cdot K_p \cdot K_u \cdot f / T_c \cdot K_f \longrightarrow (2)$$

T - durée d'un poste de travail (heure).

V - volume de la charge déplacée, m<sup>3</sup>.

K<sub>p</sub> - coefficient de la perte de la charge.

K<sub>u</sub> - coefficient d'utilisation du bull ; 0,9.

K<sub>f</sub> - coefficient de foisonnement ; 1,15-1,25.

T<sub>c</sub> - durée d'un cycle de travail (heure).

f - coefficient qui tient compte de la perte de temps (disponibilité) ; 0,9.

- Abattage consiste à détacher des massifs rocheux à l'aide d'explosif en vue de les fragmenter en matériaux dans des conditions préalablement définies dans le cadre d'un schéma de tir. Un bon décapage est indispensable avant chaque opération de foration.

Les travaux de foration primaires sont assurés par trois sondeuses de diamètre de 160 mm, et un rendement qui varient de 40 m/h à 60 m/h.

La foration secondaire est assurée par un chariot de foration de type Crawlair de 76 mm de diamètre et un rendement de 30 m/h pour la foration des banquettes, et 13 m/h pour la foration des blocs.

L'obtention d'une bonne fragmentation de la roche nécessite l'optimisation des différents paramètres de tir à savoir :

- La maille, la ligne de moindre résistance et le diamètre de foration;
- Le taux de chargement en explosifs, notamment en explosif brisant (marmanite);
- Le nombre de charge placée dans les trous de mine.
- Le bourrage.

Le tonnage à abattre est calculé suivant les paramètres de tir:

$$T = a \cdot H_g \cdot W \cdot d \cdot \sin \alpha \cdot N_t \quad (t) \longrightarrow (3).$$

a - distance entre les trous (m);

H<sub>g</sub> - hauteur du gradin (m): H + 1,5;

W - ligne de moindre résistance (m);

d - densité (stérile : 2,4 t /m<sup>3</sup>, phosphate : 2,3 t /m<sup>3</sup>);

Sin α- inclinaison des trous (70°);

N<sub>t</sub> - nombre de trous.

- **Chargement et transport** D'après l'historique de l'extraction en prévisions et réalisations soit pour le stérile soit pour le phosphate, le tableau.1 ci-dessous récapitule les prévisions et réalisations du Phosphate plus Stérile de 2005 à 2009.

Tableau.1- Prévisions et réalisations phosphate et stérile 2005 à 2009.

Années	Stériles			Phosphate		
	Prévu	Réalisé	Taux	Prévu	Réalisé	Taux
2005	4 100 000	3 995 225	97,44	1 900 000	1 634 424	86,02
2006	6 200 000	4 277 319	68,99	2 950 000	2 758 556	93,51
2007	10 000 000	5 354 578	53,55	4 000 000	3 380 616	84,52
2008	11 000 000	10 535 573,39	95,78	4 400 000	3 102 426	70,51
Octobre 2009	19 870 000	16 073 618,56	80,89	3 449 000	1 325 949,77	38,44

L'analyse des chiffres montre clairement l'augmentation assez rapide en terme d'extraction, cette augmentation était la principale justification de faire appel à la prestation (chargement et transport) externe pour réaliser les objectifs affichés.

Au niveau de la carrière de Kef Essennoun avant de faire appel aux prestataires le complexe possède 03 chantiers, deux stériles et un phosphate, les deux chantiers stériles se compose chacun d'une chargeuse de 400 t/h de rendement avec des camions Hitachi de 65 t de capacité tandis que le chantier phosphate est composé de la même chargeuse mais avec des camions de marque Caterpillar de 50 t de capacité.

La relation chargement-transport est toujours observée par l'ajout d'un nombre nécessaire de camions afin d'éviter le temps mort en particulier pour l'engin de chargement.

- **Terril** Au niveau du complexe minier de djebel onk la mise à terril se fait à l'extérieur du contour minéralisé pour cela deux endroits (espace) sont aménagés pour décharger le stérile de l'exploitation constituant ainsi une décharge pour le complexe et l'autre pour le prestataire turque voici quelques paramètres de ces deux décharges :

- Décharge de djebel onk fait 416542 m<sup>2</sup>, un périmètre de 3643 m, une hauteur moyenne de 39 m et un angle de 63°.

- Décharge turque : fait 166188 m<sup>2</sup>, un périmètre de 2202 m, une hauteur moyenne de 29 m et un angle de 60°

## **III.2- ENRICHISSEMENT DES MINERAIS DE PHOSPHATE**

### **III.2.1-Introduction**

La première utilisation des phosphates a été initialement associée au développement de l'agriculture qui reste la grande consommatrice d'engrais phosphatés. En dehors du rôle fondamental du phosphore dans la production agricole, les 15% des phosphates d'usage non agricole sont utilisés dans la métallurgie (alliage), l'industrie chimique (pesticides, détergents), pétrolière (lubrifiant), alimentaire et pharmaceutique. La répartition des utilisations des concentrés marchands est la suivante :

- 77 % pour les engrais obtenus par attaque acide ;
- 04 % pour les engrais d'application directe ;
- 08 % pour le phosphore et l'acide phosphorique thermique.
- 05 % pour l'alimentation du bétail ;
- 05 % pour les poly phosphates.

Par ailleurs les phosphates bruts renferment, différents éléments chimiques nous citons l'uranium qui est présent la plupart du temps dans les phosphates sédimentaires quelle que soit leur localisation géographique. à faible dose, quelques centaines de ppm (partie par million), l'uranium des phosphates peut être récupéré pendant la fabrication d'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ). Cette récupération est apparue économiquement rentable depuis une vingtaine d'années. Ainsi, en 1980, 12 % de l'uranium utilisé dans le monde provenait du traitement des phosphates.

On trouve aussi d'autres métaux présents dans les phosphates. Il en est ainsi de l'aluminium, du fer, du magnésium qui ne trouve pas d'emploi et du cadmium qui fait partie des métaux dits lourds et peut rendre le minerai impropre à un usage agricole. C'est pourquoi la commission européenne a approuvé le 31 mai 2002 l'interdiction des engrais phosphatés à forte teneur en cadmium ([www.sahara-occidental.com](http://www.sahara-occidental.com)).

Comme tout minerai, les phosphates doivent subir des traitements avant d'être utilisés, traitements physiques (broyage, calcination, lavage, séchage) et chimiques (attaque du minerai par l'acide sulfurique) qui nécessitent des investissements importants et une maîtrise de ces technologies. Il en résulte différents produits : phosphates de calcium, acide phosphorique, anhydride phosphorique et toute une gamme d'engrais phosphatés répondant aux normes et besoins de l'agro-industrie.

- Critères de qualités des concentrés phosphatés : Les principales impuretés rencontrées dans les minerais de phosphates sont les suivantes :

- Le carbonate de chaux, engendre l'augmentation de la consommation d'acides durant l'attaque des concentrés de phosphates ; généralement il est exigé un ratio  $CaO/P_2O_5 \leq 1,6$  environ ;

- La matière organique, qui sert à stabiliser les mousses formées pendant l'acidulation et empêche d'obtenir un acide phosphorique clair ;

- Les sulfures, lors de l'acidulation entraînent des dégagements d' $H_2S$  et augmentent l'action corrosive de l'acide phosphorique ;

- Le carbonate de magnésium, qui rend difficile la filtration de l'acide phosphorique ; il est exigé en général moins de 0,5 à 0,8 %  $MgO$  dans un concentré selon le type d'acide phosphorique ou d'engrais à produire ;

- Le fluor, agent corrosif qui se combine avec la dose de silice réactive appropriée (partie de la silice totale) pour donner un acide fluo-silicique ;

- Les oxydes d'aluminium et de fer, gênent lors de la fabrication d'acide phosphorique en augmentant sa viscosité ;

- Le chlore, qui provoque des phénomènes de corrosion lors de la fabrication de l'acide phosphorique ; on général il est exigé, pour cet usage, moins de 250 à 1000 ppm Cl<sup>-</sup> selon le type de matériau de construction du réacteur et de ses annexes ;

- Le cadmium, dont la toxicité en matière agricole fait néanmoins l'objet de controverses ;

- Les alcalins, qui sont à l'origine d'entartrage dans les réacteurs de fabrication d'acide phosphorique et leurs annexes.

En dehors des teneurs en CaCO<sub>3</sub> et en Cd, toutes les autres contraintes sont relatives à la fabrication de l'acide phosphorique. Pour les autres fabrications : attaques totales, sulfuriques (superphosphates simples), phosphorique (superphosphates triples), et attaques ménagées (phosphates partiellement acidulés). Les contraintes sont beaucoup moins strictes voir, selon le cas, nulles. La notion d'impureté est donc toute relative à l'usage que l'on veut donner au phosphate.

#### - Procédés de traitement des minerais de phosphate

L'enrichissement consiste, en utilisant les procédés les moins onéreux possibles, pour libérer les constituants minéraux, ensuite séparer les impuretés libres par voie physique ou chimique et ainsi concentrer les éléments phosphatés.

Pour les minerais d'origine ignée non altérés, le problème de l'enrichissement est généralement résolu par réduction granulométrique suivi de flottation, alors que l'enrichissement des minerais sédimentaires nécessite des solutions plus originales et souvent assez complexes.

On peut distinguer les procédés suivants :

- Simple séchage du minerai riche : qui consiste à éliminer l'eau; comme le cas du gisement de Khouribga – Sidi Daoui au Maroc;

- L'enrichissement par voie sèche : utilisé dans le cas d'un minerai peu consolidé (matériau à aspect sableux et ayant été séché), où la libération des éléments phosphatés s'effectue par divers procédés d'attrition. Si le matériau est compact ou contient une certaine proportion de morceaux compacts, le traitement débutera par une ou plusieurs étapes de concassage et/ou de broyage qui est parfois sélectif ;

- L'enrichissement par voie humide : utilise dans le cas où le matériau est argileux ou a un comportement plastique, la libération des divers minéraux s'effectuera par mise en pulpe mettant en œuvre diverses phases de malaxage et d'attrition ;

- L'enrichissement par flottation : permet de séparer aisément quartz et éléments phosphatés. Elle est utilisée aussi dans le cas des minerais d'origine ignée pour séparer apatite et néphéline ainsi qu'apatite et carbonate. Par contre pour les phosphates sédimentaires nous marquons ces dernières années de nombreuses recherches à l'échelle laboratoire et pilote mais pas encore généralise à l'échelle industriel à cause de la difficulté de séparation, puisque les propriétés physiques des phosphate et des carbonate sont très proches ;

- L'enrichissement par calcination : le procédé thermique qui est la calcination a des effets multiples sur le phosphate: destruction des matières organiques, décomposition des carbonates, modification plus ou moins importante de l'état cristallin se traduisant par une diminution de la porosité et finalement de la réactivité à l'égard des acides. Les phosphates calcinés se rapprochent, par leur caractéristique, des phosphates d'origine ignée.

- La lixiviation : consiste à une attaque acide.

Pour terminer il ya lieu de signaler les nouveaux procédés développés dans le domaine de traitement à savoir : La séparation électrostatique et la calcination par micro onde.

### III.2.2- Caractéristiques du phosphate de Djbel-Onk

L'objectif principal du traitement du minerais de phosphate est la fabrication de concentré de répondant aux exigences de l'industrie des engrais pour la fabrication d'acide phosphorique et les engrais phosphates utilisant entre 80 à 90 % de la production mondiale de phosphate.

Le concentré titre plus de 60 % TPL, obtenu, par la sélection de la fraction granulométrique du minerai de 80 à 800  $\mu\text{m}$ . Cette fraction n dite noble est celle qui a été déterminé pour le gisement de Djemi Djema.

Le choix du schéma de traitement de l'usine de Djebel Onk est argumenté par les propriétés du minerai à traiter. Les principales caractéristiques du minerai de phosphate sont :

- Dureté : 5 à 6 ; selon le professeur Protodiakonov
- Teneur moyenne en  $\text{P}_2\text{O}_5$ : 25 à 27 %;
- Coefficient de foisonnement : 1,6  $\text{t/m}^3$  ;
- Humidité : 5 à 8 %;
- Composition minéralogique ;
- Composition chimique :  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , concentration sous forme d'oxyde ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) lié à la chaux ( $\text{CaO}$ ) formant le minerai final;
- La grosseur du minerai arrivant à l'usine de traitement :  $D_{\text{max}} = 200 \text{ mm}$  (après concassage).

## - Préparation mécanique

En 1975 G.Duchatelle a montré que pour le gisement de Djemidjema les tranches granulométriques inférieures à 0,08 mm et supérieur à 0,8 mm sont pauvres en  $P_2O_5$  ( $< 24\%$ ) et seule donc la tranche [0,08 ; 0,8mm] présente un intérêt économique – produit marchand – et qui est appelée aussi "Tranche Noble". Notons que pour le gisement de kef essenoun la fraction noble considérée est [0,08 ; 0,8 mm]

La chaîne de traitement de phosphate du complexe minier de Djebel Onk est constituée de deux voies : voie sèche et voie humide. Avant de procéder au traitement, le minerai subit une préparation mécanique.

La préparation mécanique constitue principalement par les opérations de concassage, de broyage et de criblage (Figures. 12).

-Le concassage s'effectue par un concasseur de type giratoire avec un débit de 1 000 t/h dont la granulométrie entrante varie de 0 à 1000 mm et une granulométrie sortante de 0 à 200 mm ce qui donne un taux de réduction de 5.

Notons, qu'une nouvelle station installée à kef Essenoun composée de : nouveau concasseur à mâchoire d'une capacité de 1800 t/h qui est installé à coté de la tranchée principale, un scalper, un broyeur à marteau, une bande transporteuse d'une longueur de 1040 m et deux cribles C1 et C2 avec un débit moyen de 1000 t/h pour chacun.

- Le broyage du minerai s'effectue au moyen de trois broyeurs à marteaux type Wedag avec un débit moyen de 350 t/h/broyeur, la granulométrie à l'entrée est de 0 – 200 mm et une granulométrie à la sortie de 0 – 20 mm avec un taux de réduction de 10 pour l'ancienne station ou ce produit peut être stocké dans un stock approprié ou bien acheminé vers les cribles par contre pour la nouvelle station de Kef Essnoun (Hazimag) un seul broyeur à marteau type Hazimag est utilisé.

- Le criblage le produit broyé est acheminé vers 3 cribles (0 – 15 mm). Le passant de ces cribles est le produit prétraité ; ces cribles sont de type à balourds, de marque Wedag, avec un débit moyen de 350 t/h/crible pour l'ancienne station par contre dans la nouvelle station de Kef Essnoun seulement 2 cribles vibrants inclinés sont utilisés (Figure.12).

- Voie humide Pour des raisons économiques et techniques la chaîne de traitement par voie humide (DK1) a subit quelques modifications telle que reconversion de la calcination en four sécheur permettant ainsi de renforcer les capacités de séchage et la suppression de

L'atelier de lavage qui fonctionne de paire avec la calcination pour une éventuelle modification en atelier de débouillage, actuellement le seul composant essentiel pour le traitement du minerai est l'atelier de débouillage.

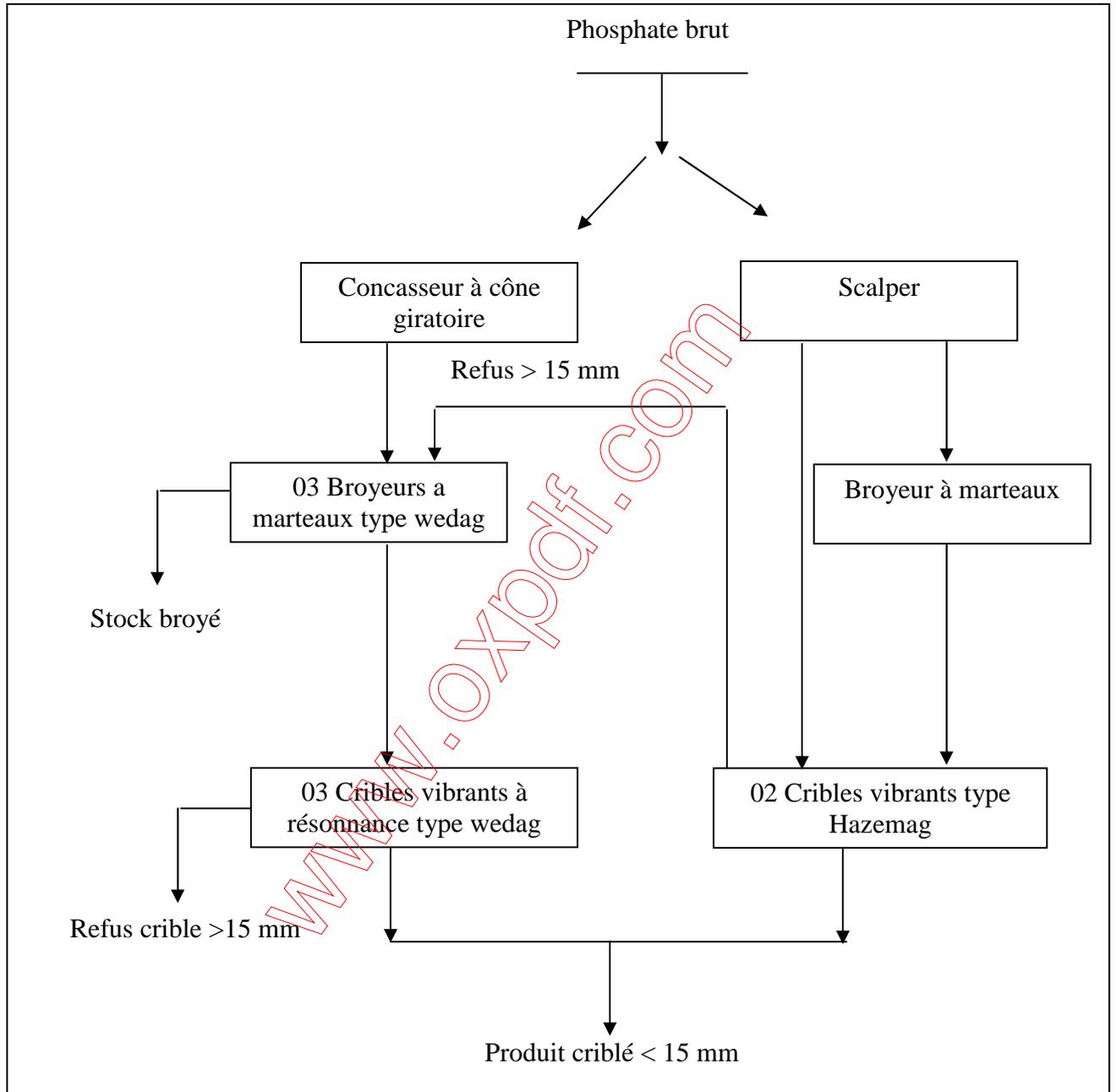


Figure.12- Schéma de préparation mécanique du phosphate de djebel -Onk

- Atelier de débouillage cet atelier est destiné à réaliser un premier enrichissement, en éliminant les argiles, les silicates et la silice exogène ainsi que les matières organiques et certains sels comme le gypse (éléments solubles).

Le débouillage s'opère par une coupure haute des grilles courbes ( $> 0,8$  mm) et une coupure basse par des hydro cyclones ( $< 0,08$  mm).

La mise à en pulpe est le mélange du produit criblé avec de l'eau au niveau de doseurs, puis cette mise en pulpe passe dans les grilles courbes où se fait l'élimination des particules supérieures à 1 mm, qui sont considérés comme pauvre en  $P_2O_5$ .

Il existe trois lignes de traitement dans l'atelier de débouillage, ligne A, B et C dont deux similaires voir schémas technologiques (Figures.13et 14), le passant des grilles courbes est refoulé au moyen de pompe vers les hydrocyclones.

les hydrocyclones(Figure.15) ont pour but l'élimination des argiles et des particules de diamètre inférieur à 0,08 mm. L'hydrocyclone est alimenté tangentiellement en pulpe. Les particules les plus denses et plus lourdes suivent, dans leur mouvement en spirale, la paroi du cyclone et qui seront déchargées par la base de sousverse dont l'ouverture est réglable. Les particules fines se déplacent sur les spirales de rayons plus petits qui sont entraînées par le courant du liquide en haut vers l'orifice de surverse : débordement. La surverse des hydrocyclones se dirige vers les épaisseurs où se fait la récupération de l'eau et la décantation de la boue. La sousverse (phosphate) se dirige vers les filtres où se fait l'égouttage du produit.

- Atelier de séchage Le but de séchage est l'élimination de l'humidité résiduelle après filtration par filtre à bande pour la ramener d'une valeur entre 11 et 13 % à une valeur inférieure à 1 %. Le phosphate filtré sera transporté par une bande transporteuse aux deux fours rotatifs.

Le versement se fait dans une goulotte mixte, puis il y a un diviseur qui partage la production entre les fours. Chaque four comprend : Un brûleur, Chambre de combustion, Rotation tube et Ventilateur auxiliaire et principal

- Voie sèche (dépeussierage) l'atelier de dépeussierage (Figure.16) réalise un traitement physico-mécanique (séparation) après la préparation mécanique du minerai, L'atelier est composé de 2 chaînes DKII et DKIII; on distingue les étapes de traitement suivantes :

- Séchage : dans deux fours à lits fluidisés pour diminuer l'humidité de 9 à 1 %;
- Criblage à 2 mm : par cribles à résonance dont le nombre est de 4;
- Broyage à impact (broyage sélectif) : dans trois broyeurs pour libérer la maille apatitique ;
- Sélection pneumatique pour éliminer les fines pauvres en TPL ;
- Criblage à 0,8 mm : par cribles à résonance dont le nombre est de 04.

La capacité annuelle installée de l'atelier voie sèche est de 1,6 millions de tonnes, d'une teneur de 63 à 65 % TPL, qui est stocké soit dans 5 silos d'une capacité totale de 20000 tonnes soit dans un stock marchand d'une capacité de 25000 t .

www.oxpdf.com

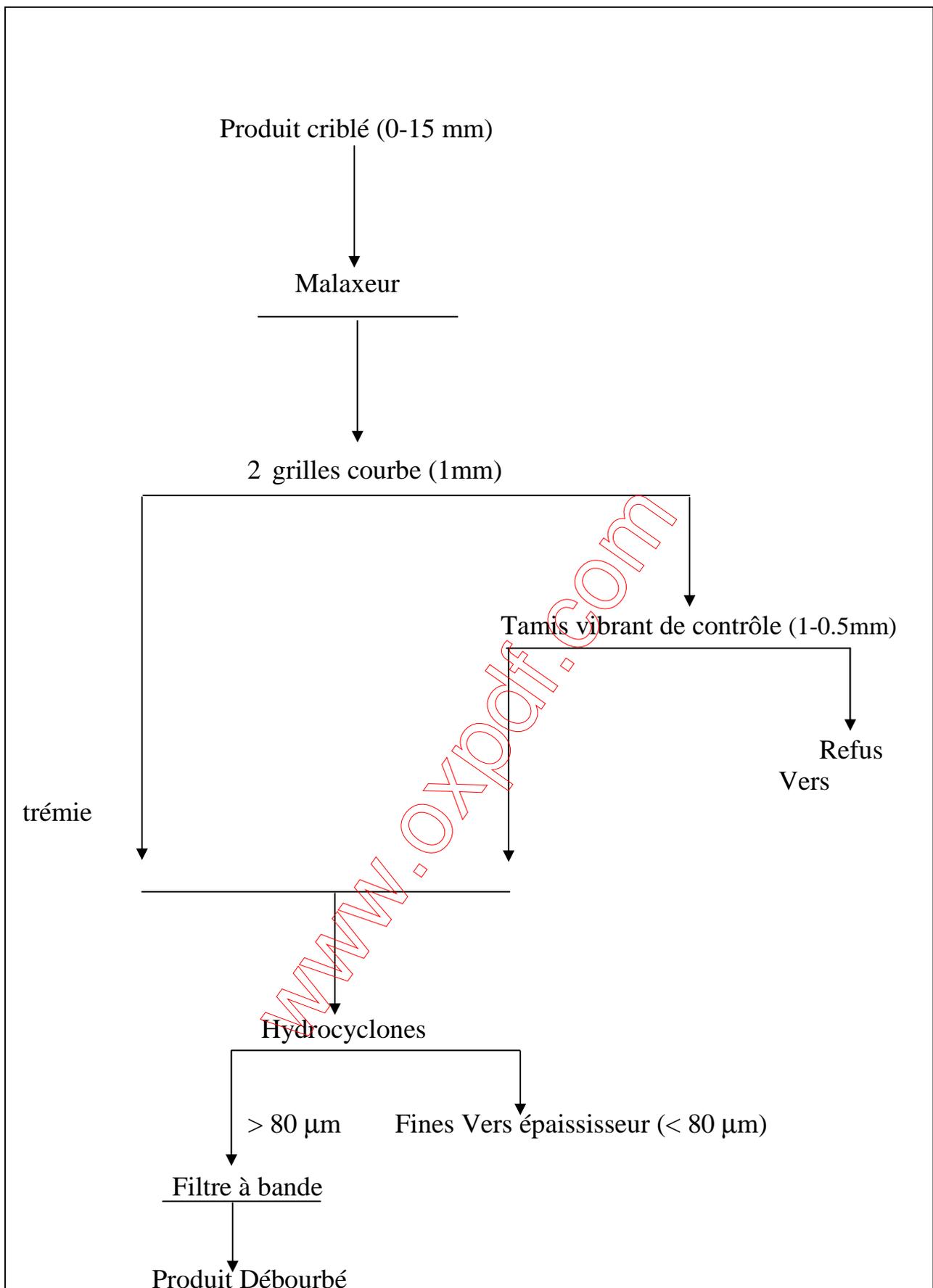


Figure.13-Schéma de préparation du minerai de la ligne A (atelier débourage)

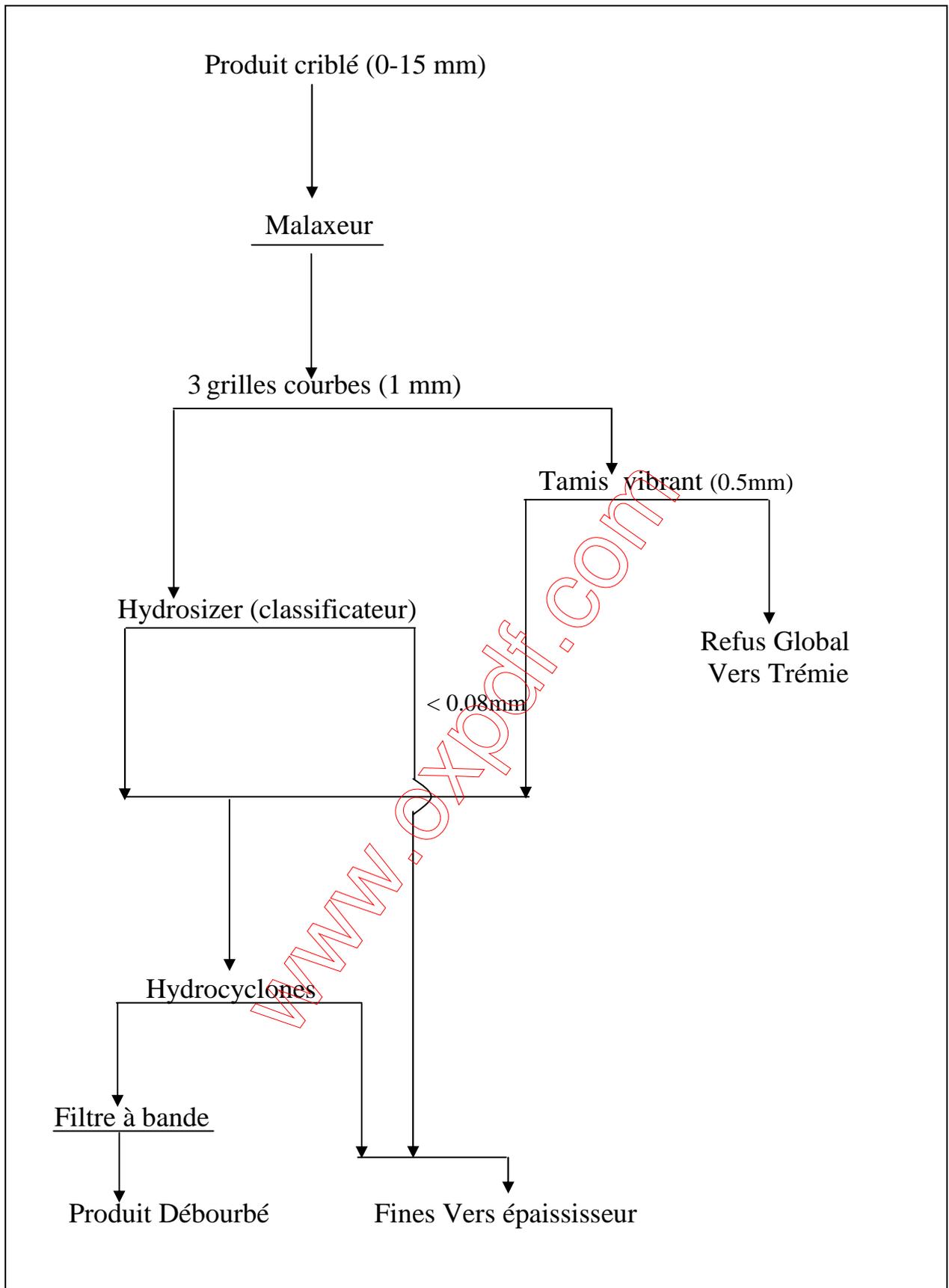


Figure.14-Schéma de préparation du minerai de la ligne C (atelier débourbage)



Figure.15- Batterie d'hydrocyclonage

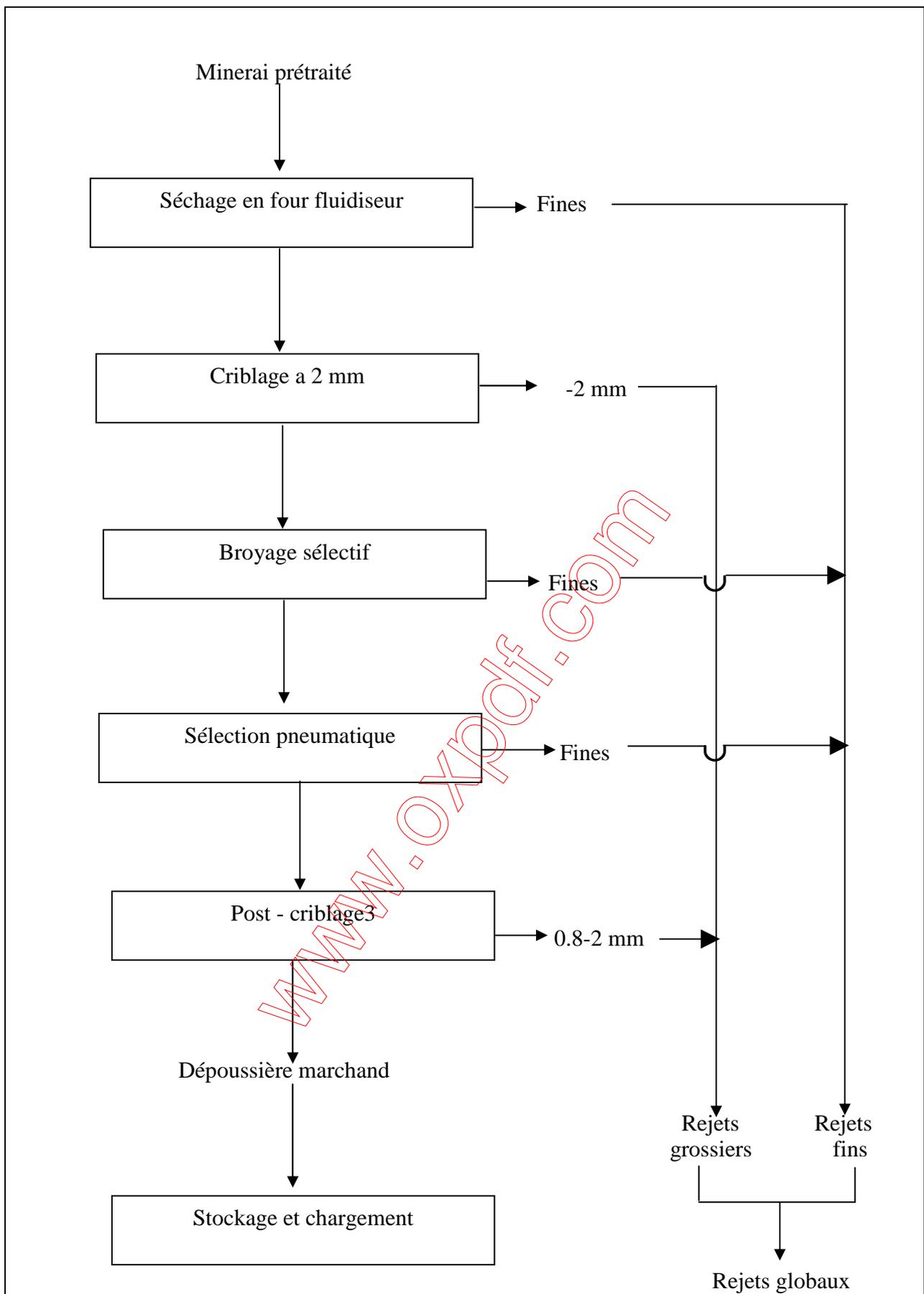


Figure.16- Schéma de traitement du phosphate par l'atelier de dépoussiérage

### III.3- CONCLUSION

Pour ce chapitre on peut conclure ce qui suit :

- Jusqu'à l'heure actuelle la réouverture de la carrière n'est pas terminée ce qui explique la variation de la configuration de cette dernière avec respect inconditionnel de la réglementation en vigueur ;

- La méthode d'exploitation utilisée actuellement au niveau du gisement de kef essenoun permet de réaliser assez rapidement une augmentation de la production il suffit de mettre les moyens nécessaires et de grande capacité ;

- La méthode d'exploitation utilisée permet aussi de réaliser ce qu'on appelle une exploitation sélective selon la demande et l'exigence des clients ;

- La méthode d'exploitation permet aussi de maîtriser l'espace désigné pour le stockage des stériles (espace extérieur en dehors du contour minéralisé) par l'utilisation de l'espace créé par l'exploitation c'est-à-dire à l'intérieur du contour minéralisé.

- Dans l'état actuel du marché internationale l'entreprise fabrique trois gammes de phosphate à savoir :

- Le phosphate 63/65 % TPL avec MgO < 1 % ;
- Le phosphate 63/65 % TPL pour épandage direct ;
- Le phosphate 66/68 % TPL MgO < 1 %.

Le transport des différentes qualités fabriquées se fait par chemin de fer sur une distance de 330 km avec une cadence journalière de 03 trains (rames) et la quatrième se complète au moyen de transport par camions d'une capacité de 40 t vers le port d'Annaba pour l'exportation (toute la production est vendue à l'extérieur).

L'exigence des clients en termes de quantité et qualité et la compétitivité farouche des différents fabricants impose une adaptation en continue de la chaîne de traitement.

## **CHAPITRE IV - ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE DES FLOW-SHEET DE TRAITEMENT DES REJETS PHOSPHATES ISSUS DE LA CLASSIFICATION HYDRAULIQUE AVEC POSSIBILITE DE RECYCLAGE DES EAUX**

La recherche bibliographique est très importante dans le domaine de recherche du fait qu'elle nous renseigne sur les études réalisées dans le domaine de recherche en question sur tout lorsque ces dernières n'ont pas le caractère confidentiel.

Dans le domaine de phosphate la majorité des études ont le caractère confidentiel justifié par l'intérêt commercial que représente cette matière concernant notre sujet de recherche qui est la récupération des schlamms par des schémas de traitement appropriés peu d'études sont publiées en ce sens nous citons comme exemple :

### **IV.1-LE PROJET GOSPEL**

Ce projet peut se définir comme suit : gestion optimale des schlamms (rejets fin boueux) phosphates des exploitations minières, consiste à développer une activité agricole locale en liaison avec l'activité minière en exploitant au mieux les qualités de ce déchet minier (réserves hydriques et qualité agronomique).

L'objectif général du projet Gospel est de définir un schéma de valorisation d'un déchet minier en recherchant :

- Un recyclage optimal des eaux de procédé qui permet de minimiser les prélèvements d'eau dans le milieu naturel ;
- Un stockage des rejets fins argilo-phosphates de la mine ;
- Un développement des activités agricoles (maraichage, plantations forestières) dans une zone défavorisée en ressources en eau

([http://www.riteau.org/archives%5Cfiches\\_projet%5CGOSPEL.pdf](http://www.riteau.org/archives%5Cfiches_projet%5CGOSPEL.pdf) ).

#### Approches du projet :

Le projet est constitué des étapes suivantes :

- Analyse des contraintes initiales ;
- Bilans de l'eau consommée et rejetée par l'usine de traitement durant les quatre dernières années ;

- Modélisation du fonctionnement des bassins à schlamms ;
- Rapport eau solide du fonctionnement des bassins ;
- Analyse de l'activité agricole actuelle sur le site ;
- Analyse des besoins de l'activité minière ainsi le potentiel de développement des activités agricoles ;
- Caractérisation physique, minéralogique et agronomique des schlamms ;
- Suivi des niveaux des éléments dangereux pour la sante (en particulier cadmium et fluor) dans les produits maraichers ;
- Test en laboratoire sur deux cultures maraichères ;
- Définition de schémas de gestion des schlamms :
- Choix d'un modèle de gestion des schlamms avec évaluation des impacts socio-économique.

Parmi les résultats scientifiques et techniques on peut citer :

- Détermination des taux de recyclage d'eau contenue dans les schlamms : 60 % sur le circuit court des épaisseurs plus 17 % sur le circuit long des bassins (soit environ 40 % de l'eau des schlamms épais) ;
- Les schlamms permettent d'économiser 5 à 7 fois le volume d'eau d'irrigation nécessaire au sol ;
- Définition de plusieurs scénarios de gestion des schlamms.

#### **IV.2-LE PROJET ELMAA**

Le projet Elmaa rentre dans le cadre du programme européen INCO-MPC qui caractérise la coopération entre l'Europe et les pays méditerranés, le BRGM (France) et le CERPHOS (Maroc) avec l'association d'autres partenaires méditerranés tel que la Jordanie, le Maroc, Tunisie, Belgique et la Grèce ont lancé un projet de taille sur la gestion intégrée de l'eau dans la zone d'influence des mines de phosphate (la date du début est septembre 2005 et la date de fin en avril 2009).

Ce projet se focalise sur l'interface entre les secteurs miniers et agricole, et l'objectif principal est de développer des solutions techniques pour réduire la contrainte sur les ressources hydrique (l'eau en terme de qualité et de contrainte) dans le secteur minier et agricole à titre d'exemple utilisation des eaux usées municipale dans le lavage du phosphate et aussi utiliser l'eau de lavage de phosphate comme eau d'irrigation.

L'essentiel à retenir ce que le projet Elmaa s'intéresse à l'activité minière du phosphate et a pour objectif de :

- Stimuler les économies d'eau ;
- Considérer les eaux comme partie intégrante des ressources en eau ;
- Adopter des technologies et approches qui préservent l'eau pour une utilisation durable.

Parmi les expériences nous pouvons citer :

IV.2.1-Laboratoire de traitement et recyclage des eaux, centre de recherche et technologies des eaux (CERTE)- Tunisie :

Selon les résultats obtenus ce laboratoire recommande l'utilisation de décanteur lamellaire pour toute nouvelle laverie, la récupération peut atteindre quatre fois.

Le laboratoire conseille une règle pour le recyclage et le traitement des rejets que les différents effluents doivent être considérés séparément pour augmenter les possibilités de recyclage en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques.

Concernant le recyclage de l'eau des procédés, les recommandations à retenir sont la suivante :

- récupérer et recycler l'eau des refus et produits finis par la mise en place de drain ;
- récupérer l'eau de filtration du produit fini (peut être équivalente jusqu'à 50 % de l'eau neuve apportée) et la recycler directement dans le procédé sans ou après récupération des particules des phosphates en suspension.

IV.2.2-Possibilité d'amélioration de la récupération d'eau à partir des schlamms de la laverie de phosphate de Mdila :

Partant du principe que l'activité minière fait appel à des quantités énormes d'eau pour le traitement par le lavage du phosphate et que les rejets sont rejetés sous formes des schlamms (boue), afin d'étudier les possibilités d'amélioration de la récupération de la quantité d'eau deux options technologiques ont été étudiées :

- L'utilisation d'un décanteur lamellaire : il s'agit de réaliser un recyclage maximum de l'eau au moyen de décanteur avec plaques inclinées les essais réalisés sur un décanteur pilote en présence de lamelles et floculant ont permis de déterminer à différents débits et mode de fonctionnement :

- La vitesse initiale de décantation ;
- Le temps correspondant au début de la consolidation mécanique des Particules ;
- Le pourcentage d'eau récupérée

- Consolidation des boues : les boues de laveries de Mdila rejetées dans des décharges ont fait l'objet d'étude de drainage sur la consolidation. Les essais de consolidation menés avec et sans drainage montrent que la boue suit le même régime sédimentaire, un accroissement de la vitesse initiale de sédimentation est obtenu sous l'action du drainage. La détermination du point de compression PC montre qu'un gain d'environ la moitié est réalisé sur le temps de compression lorsque la boue est drainée sur le sable avec une quantité d'eau récupérée plus supérieure tout cela donne en fin de course un meilleur recyclage des eaux pour une gestion optimale des ressources en eau.

IV.2.3- Utilisation agricole des boues (rejets) phosphatées dans les sols gère par l'office des terres Domaniale de Gafsa :

Cette expérience consiste à la réalisation de nombreuses expérimentations spécifique sur différents modèles de laboratoire.

Le rajout de la boue de l'usine de Mdila à un sol assez pauvre du site pilote de l'OTD de Gafsa à raison de 10, 20 , 60 et 120 t /ha a montre que la capacité de rétention en eau de ce sol augmente d'une façon proportionnelle à la dose de la boue ajoutée , pour une dose de boue qui varie de 10 à 120 t/ha le gain d'eau varie ,respectivement de 10 à 78 m<sup>3</sup>/ha qui demeure faible par rapport aux frais engages .

La caractérisation chimique de la boue de Mdila pour les éléments suivants : arsenic, chrome, cuivre, nickel, cadmium et le plomb a montrée que la plus part des éléments représentent des teneurs inférieures aux normes Tunisiennes sauf pour le cadmium qui fait l'exception. La mobilité des métaux lourds a été appréhendée au moyen d'essais de lixiviation en colonnes en plexiglas par le lessivage des deux horizons vierges ( superficiel et profond) , pour conclure en fin que le risque de pollution de la nappe d'eau souterraine reste très limite , par contre l'impact positif de l'utilisation de la boue sur les plantes reste à confirmer ;

IV.2.4-Industrie du phosphate en Jordanie :

En Jordanie l'industrie de phosphate constitue une importante source de revenus peut atteindre 5 % du PIB , ce pays comme la plus part des pays de la méditerranés producteurs d'acide phosphorique sa consommation d'eau est comprise entre 1et 3m<sup>3</sup> par tonne de concentré de phosphate.

La compagnie de phosphate de la Jordanie a met en place un système de sécurité et de médecine de niveau mondial de telle sorte la société adopte les dernières normes

environnementales dans le processus de production avec la mise en place d'un bon nombre d'études environnementales pour la préservation des ressources naturelles.

Le projet Elmaa est basé sur la gestion de l'eau à l'échelle de l'industrie minière (extraction et enrichissement) et sa relation avec l'agriculture. Des mines de phosphate sont prises en charge par ce projet. L'objectif du WP3, (agro) et WP4 (hydro), recueillir les données existantes et les données supplémentaires pour optimiser la consommation de l'eau et construire des modèles de base pour les sites miniers. Une étude pilote a été réalisée dans le quartier AL –Abyad

près de l'activité minière de phosphate, six parcelles de 50 m<sup>2</sup> chacune ont été plantées avec deux types de végétation pendant l'été 2006 et deux types de végétaux pendant l'hiver 2007 et irriguées par trois types d'eaux ( l'eau douce, les eaux usées de mines et l'eau mixte 50 % douce et 50 % de mines ) une analyse des métaux lourds (Cr, Ni, Zn et Pb) a été effectuée pour l'eau, le sol et les plantes pour mesurer le rendement de chaque culture à la fin de l'expérience. Aucun risque de contamination n'a été observé.

#### IV.3- Conclusion :

D'après l'analyse de la littérature de traitement et enrichissement du phosphate, les points forts qu'on peut tirer de cette industrie sont à savoir :

- quelque soit l'approche utilisée, maximisation de la récupération de l'eau issues des procédés de traitement, valorisation des schlamms ou bien utilisation des boues pour l'agriculture. L'optimisation de gestion de cette ressource (eau) doit observer ces trois éléments.

- L'intérêt à l'eau ne peut naître que s'il y a besoin crucial conditionnant le maintien de l'activité minière devant des pénuries de taille de cette ressource ;

- Les deux expériences que se soit Gospel ou Elmaa renseignent sur l'intérêt qu'on doit accorder à cette ressource et qu'il est temps que les producteurs que se soit au niveau de Ferphos ou d'autres entreprises minières utilisant l'eau pour le traitement accordent plus d'intérêt à cette ressource en terme de gestion ou de recherche.

## **CHAPITRE.V- ECHANTILLONNAGE ET CARACTERISATION PHYSICO- CHIMIQUE DES FINES (SCHLAMMS) PHOSPHATES**

### **V.1- ECHANTILLONNAGE**

L'opération d'échantillonnage réalisée pour pouvoir connaître la caractérisation des différents produits et rejets tout on observant avec rigueur les techniques normalisées utilisées dans ce domaine, nous avons essayer de respecter les deux principes essentiels a savoir :

- Le nombre de prélèvement ;
- La cadence entre prélèvements entre autre la périodicité de prélèvement (chaque une heure)

Le nombre réalisé est plus de trente et le nombre d'analyse réalise pour chaque éléments est aussi de trente.

### **V.2- CARACTERISATION DES REJETS**

Pour bien comprendre le contenu des rejets phosphates, il est crucial de comprendre que ces derniers sont issus de différents procédés de traitement après une opération de séparation sèche ou humide c'est le cas des rejets de l'usine de traitement de djebel onk issus soit du traitement en humide du produit tout venant au niveau de l'atelier de débouillage soit par traitement a sec du produit tout venant (produit criblé) dans l'atelier de dépoussiérage ce qui donne en fin de course un produit marchand commercialisable et un rejet, pour cela il demeure important de caractériser le tout venant ,les différents produits marchands et en fin les différents rejets

#### **V.2.1- Caractérisation du produit criblé**

Le produit criblé qui est le produit d'alimentation de tous les procédés de traitement est caractérisé par une granulométrie par classe variable, 8,26 % de particule plus de 2 mm, de 2 % de particules plus de 1,25 mm et de 1,74 % plus de 1mm, alors que les particules fines inférieures à 80 microns représentent 7,15 %.

Sur le plan qualité le produit criblé est caractérisé généralement par une teneur en  $P_2O_5$  est de l'ordre de 27 % et peut atteindre par fois 28 % insitu avec un MgO de 2,30 %, elle peut avoir des valeurs beaucoup plus supérieures dans les particules supérieures à 1 mm, elle peut atteindre 4 % et dans les particules fines peut atteindre presque le double soit 7 %.

Pour avoir plus d'information sur le produit criblé nous avons procédé à l'analyse de ce dernier par classe granulométriques et en général nous pouvons retenir que les éléments pénalisants de point de vue commercial c'est-à-dire les valeurs non acceptées se situent en dehors des deux coupures haute et basse autrement dit en dehors de l'intervalle de 1 mm à 80 microns, par contre pour les métaux lourds chaque éléments est différent dans la variation en fonction des classes granulométriques tous les détails, que se soit granulométriques ou bien chimiques sont représentés dans les tableaux (Tableau.2et 3) ci-dessous .

Pour bien illustrer la variation en fonction des classes granulométriques des courbes ont été tracés voir figures 17,18 et 19 ci –dessous.

La courbe illustré dans la figure 17 montre clairement la tranche noble a récupérée par tel ou tel procédé de traitement c'est-à-dire de 80 a 800 micron

La courbe figure 18 renseigne que la teneur en  $P_2O_5$  varie a l'inverse de la teneur en  $MgO$ .

Pour les métaux lourds (Figure.19) la teneur du Zn varie a l'inverse de la teneur du Cl par contre les autres éléments traces tel que le Pb, Cd et As ont des valeurs très négligeables, c'est pourquoi coïncide avec l'axe des abscisses sur la figure.

Tableau.2- Analyse granulométrique du produit criblé (0-15 mm)

Echantillon	%	Echantillon	%
Global TV	100	-0.4+0.315	11.04
+2	08.26	-0.315+0.250	13.16
-2+1.25	2.00	-0.250+0.200	21.30
-1.25+1	1.74	-0.200+0.160	13.17
-1+0.8	0.21	-0.160+0.125	6.78
-0.8+0.63	0.37	-0.125+0.100	4.00
-0.63+0.5	1.91	-0.100+0.08	3.60
-0.5+0.4	5.31	-0.08	7.15

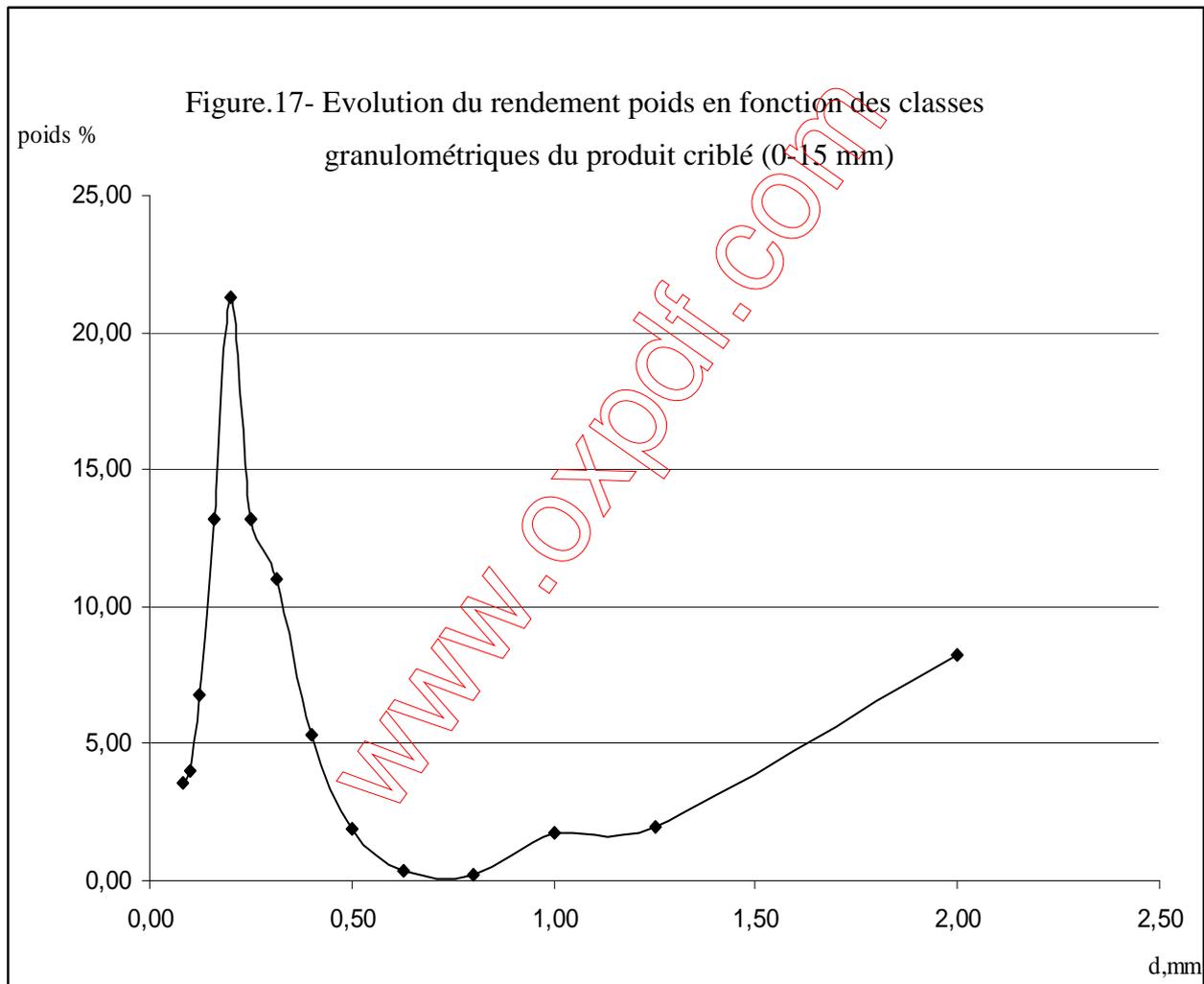
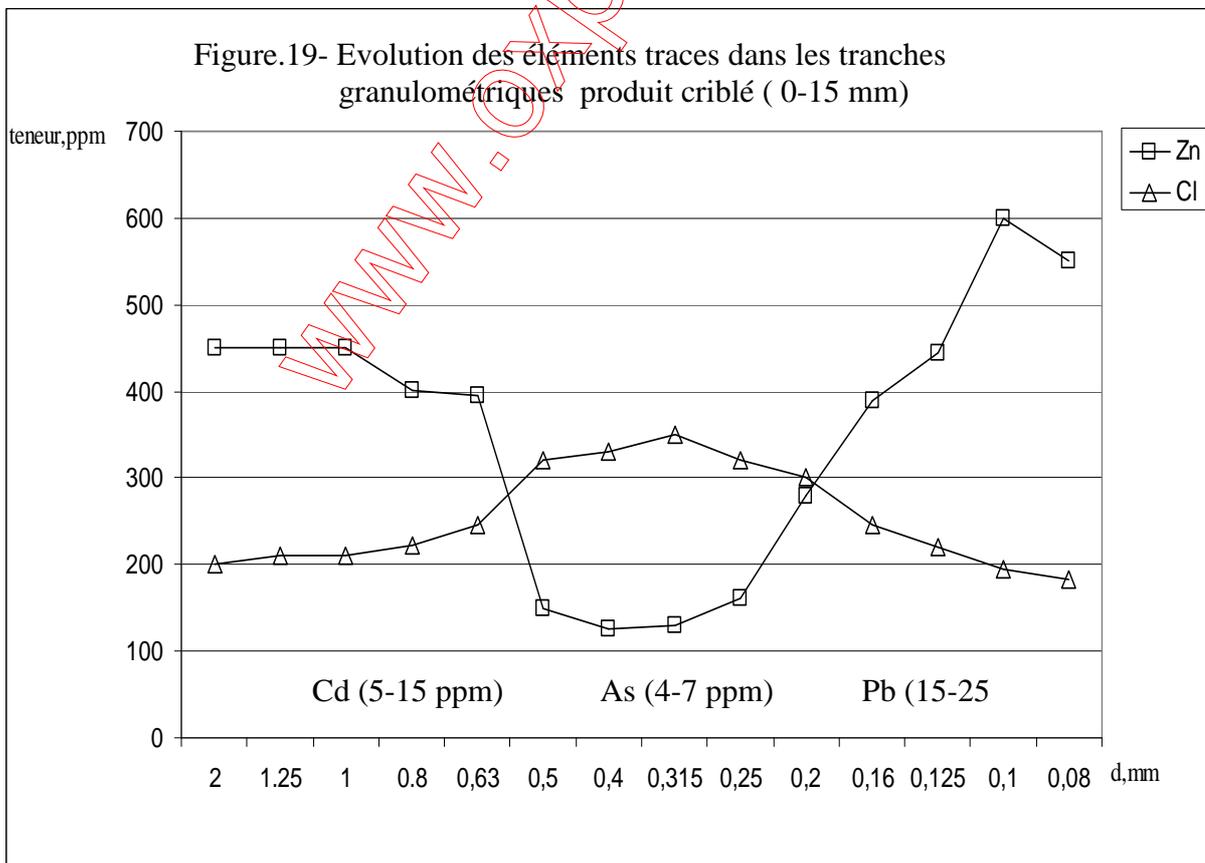
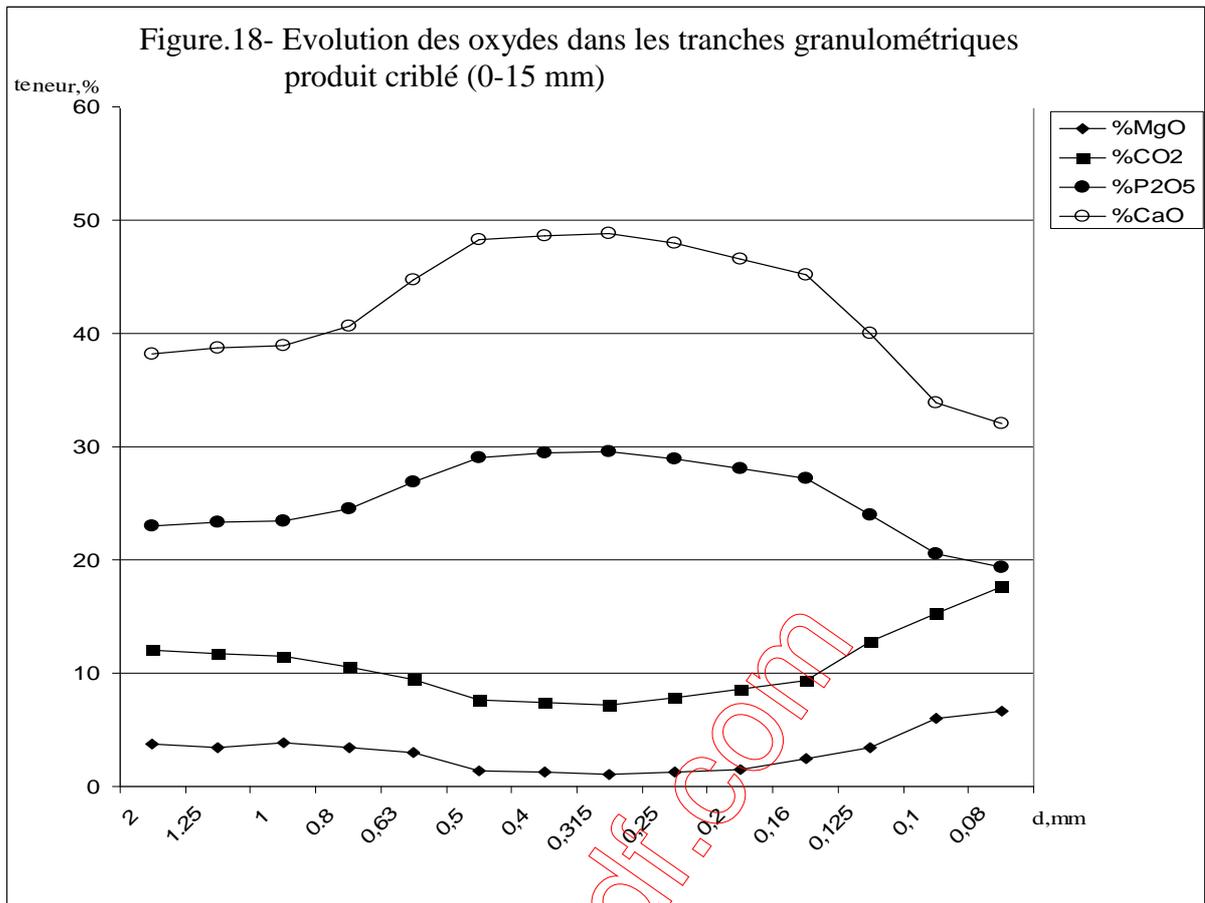


Tableau.3-Analyse chimique du produit criblé par classes granulométriques

Echantillon	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% CO <sub>2</sub>	% MgO	% CaO	% SiO <sub>2</sub>	% F	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% K <sub>2</sub> O	% Na <sub>2</sub> O	Pb, ppm	As, ppm	Cl, ppm	Cd, ppm	Zn, ppm
Global TV	27.45	8.95	2.30	46.22	4.89	2.90	0.32	1.00	1.35	21	5.0	250	12	388
+2	23.00	12.03	3.73	38.18	6.22	1.50	0.22	1.25	1.45	20	6.0	200	10	450
-2+1.25	23.30	11.70	3.49	38.75	6.15	1.55	0.25	1.25	1.40	21	6.0	210	10	450
-1.25+1	23.40	11.53	3.89	38.92	6.00	1.55	0.25	1.20	1.40	20	6.0	210	10	450
-1+0.8	24.50	10.51	3.40	40.67	5.90	1.80	0.30	1.15	1.38	21	6.0	222	11	401
-0.8+0.63	26.90	9.50	2.98	44.72	5.15	2.55	0.32	1.10	1.36	18	5.0	245	13	395
-0.63+0.5	29.00	7.65	1.44	48.30	3.02	3.02	0.36	0.15	1.15	15	4.0	320	15	150
-0.5+0.4	29.45	7.38	1.25	48.60	2.98	3.40	0.38	0.12	1.12	15	4.0	330	15	125
-0.4+0.315	29.55	7.20	1.10	48.82	2.85	3.55	0.38	0.12	1.09	15	4.0	350	15	130
-0.315+0.250	28.90	7.80	1.29	47.97	3.11	3.00	0.35	0.15	1.13	15	4.0	320	14	161
-0.250+0.200	28.10	8.55	1.51	46.51	3.98	2.95	0.33	1.10	1.25	19	5.0	300	13	280
-0.200+0.160	27.20	9.35	2.46	45.15	5.00	2.89	0.33	1.20	1.39	21	5.0	245	12	390
-0.160+0.125	24.00	12.84	3.40	39.97	5.50	1.95	0.20	1.30	1.41	22	5.5	220	10	444
-0.125+0.100	20.50	15.25	5.97	33.83	7.12	1.02	0.15	1.45	2.00	22	6.5	195	08	600
-0.100+0.08	19.40	17.61	6.63	32.07	8.88	0.95	0.15	1.40	2.05	25	6.5	182	05	550
-0.08	18.40	18.95	6.85	30.22	10.00	0.75	0.12	1.55	2.15	25	7.0	150	05	420



### V.2.2-Caractérisation des différents produits marchands

Au niveau du complexe trois qualités de produits marchands sont commercialisées à savoir :

- 63—65 % TPL produit pour épandage direct ;
- 63—65 % TPL avec un Mgo < 1 % produit pour transformation ;
- 66—68 % TPL avec un Mgo < 1 % produit pour transformation.

Ces différents produits possèdent chacun une fiche technique caractérisant la granulométrie et la chimie de chaque produit tout en tenant compte des exigences commerciale des différents clients. les tableaux.4,5,6 et 7 ci-dessous représentent les fiches techniques des produits ( granulo-chimique) .

Le produit 66-68 % TPL sa granulométrie est dominée par la classe plus 200 micron qui représente 75 % du poids total, par contre les particules fines inférieure à 80 micron représentent 0,20 % du poids. La chimie du produit est caractérisée par une teneur en  $P_2O_5$  égale à 30,3 % et un MgO égal 0,81 % et une humidité inférieure à 1 %.

Le produit 63-65 % TPL destiné à la transformation, la classe plus 200 microns représente 66,45 % du poids ,soit un peu inférieure à la qualité 66-68 % TPL , par contre les particules inférieures à 80 microns représentent un peu plus soit 1,07 % pour la chimie ce produit est caractérisé par une teneur égale à 30 % TPL et un MgO égale à 0,92 %.

Le produit 63-65 % TPL destiné à l'épandage direct, la classe plus 200 microns représente 62 % du poids et les particules fines inférieures à 80 microns représentent 1,56 % Concernant sa teneur en  $P_2O_5$  égale à 29,5 % TPL avec un MgO égale à 1,3 % .

Tableau.4- Fiche technique phosphate 66-68 % TPL (granulométrie)

Diamètre, $\mu m$	Refus, %
200	75,00
160	15,47
125	7,23
100	1,62
80	0,48
< 80	0,20

Tableau.5-Fiche technique phosphate 66-68 % TPL (chimie)

Elément Majeurs	%	Eléments en traces	Teneurs, ppm
Anhydride Phosphorique (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	30,30	Cadmium (Cd)	15---20
TPL	66,21	Zinc (Zn)	40-100
Anhydride Carbonique (CO <sub>2</sub> )	6,00	Plomb (Pb)	5----15
Anhydride Sulfurique (SO <sub>3</sub> )	2,00	Cuivre (Cu)	03---10
Oxyde de calcium (CaO)	50,94	Arsenic (As)	4----8
Oxyde de Magnésium (MgO)	0,81	Chrome (Cr)	60----120
Oxyde de Fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,41	Nickel (Ni)	4----10
Oxyde de d'Aluminium (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,39	Manganèse (Mn)	1---10
Oxyde de Sodium (Na <sub>2</sub> O)	1,12	Mercure (Hg)	<5
Oxyde de Potassium (K <sub>2</sub> O)	0,10	Sélénium(Se)	<10
Oxyde de Silicium (SiO <sub>2</sub> )	1,94	Vanadium (Va)	20----40
Humidité (H <sub>2</sub> O)	0,90	Strontium (Sr)	100---500
Perte au feu (CO <sub>2</sub> déduit)	2,30	Molybdène (Mo)	5----10
Fluor (F)	3,85	Argent (Ag)	<5
Chlore (Cl) en ppm	395	Cobalt (Co)	<5
C-Org	0,18	Titane (Ti)	10----20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble dans l'acide citrique à 2 %	10,50	Antimoine (Sb)	10---15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble dans l'acide formique à 2 %	21,00	Uranium (U)	20---50

Tableau.6-Fiche technique phosphate 63-65 % TPL (Transformation)

Elément Majeurs	%
Anhydride Phosphorique (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	30,00
Anhydride Carbonique (CO <sub>2</sub> )	6,50
Anhydride Sulfurique (SO <sub>3</sub> )	3,02
Oxyde de calcium (CaO)	49,90
Oxyde de Magnésium (MgO)	0,92
Oxyde de Fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,38
Oxyde de d' Aluminium (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,40
Oxyde de Sodium (Na <sub>2</sub> O)	1,10
Oxyde de Potassium (K <sub>2</sub> O)	0,10
Oxyde de Silicium (SiO <sub>2</sub> )	2,90
Humidité (H <sub>2</sub> O)	0,95
Perte au feu (CO <sub>2</sub> déduit)	2,80
Fluor (F)	3,65
Chlore (Cl) en ppm	380,00
C-Org	0,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble dans l'acide citrique à 2 %	10,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Soluble dans l'acide formique à 2 %	19,30

Tableau.7-Fiche technique phosphate 63-65% TPL transformation(granulométrie)

Diamètre, µ m	Refus, %	Diamètre, µ m	Refus, %
200	66,45	100	3,49
160	17,32	80	1,51
125	10,16	<80	1,07

Pour bien comprendre la variation de la composition chimique de chaque produit marchand en fonction des dimensions des particules (classes granulométrique), on a procédé à l'analyse granulochimique de ces derniers (Tableaux 8 à 13) et par la suite on trace les courbes appropriées (Figures.20 à 28).

-Pour le phosphate 66-68 % TPL, la classe 200 microns représente environ 75 % avec un poids des fines inférieur à 100 microns n'excédant guère 0.6 % du poids total concernant la chimie cette dernière est la plus riche en  $P_2O_5$  soit une teneur de 30.5 % , une teneur en MgO la plus faible soit 0.65 % et aussi les teneurs les plus faibles en éléments traces par rapport aux autres classes, 12 ppm pour le Cadmium (Cd), 44 ppm pour le Zinc (Zn) et 6 ppm pour le Plomb (Pb).

- Pour le phosphate 63-65 % TPL destiné pour la transformation la classe 200 microns représente 68.5 % du poids total, les fines inférieurs à 100 microns représentent 3.10 % du poids total. La chimie de cette classe (+ 200 microns) est caractérisé par une teneur de 30.31 % en  $P_2O_5$  et 0.75 % en MgO soit la plus faible par rapport aux autre classes et aussi les teneurs les plus faibles en élément traces, soient 15 ppm pour le Cadmium (Cd), 58 ppm pour le Zinc (Zn) et 6 ppm pour le Plomb (Pb).

- Pour le phosphate 63-65 % TPL destiné pour l'épandage direct la classe 200 microns représente 62.5 % du poids total avec 3.21 % du poids total comme fines inférieur à 100 microns. La chimie du produit est caractérisé par une teneur de 29.95 % en  $P_2O_5$  et 0.96 % en MgO. Les éléments traces ont les teneurs suivantes : 18 ppm pour le Cadmium (Cd), 70 ppm pour le Zinc (Zn) et 8.5 ppm pour le Plomb (Pb).

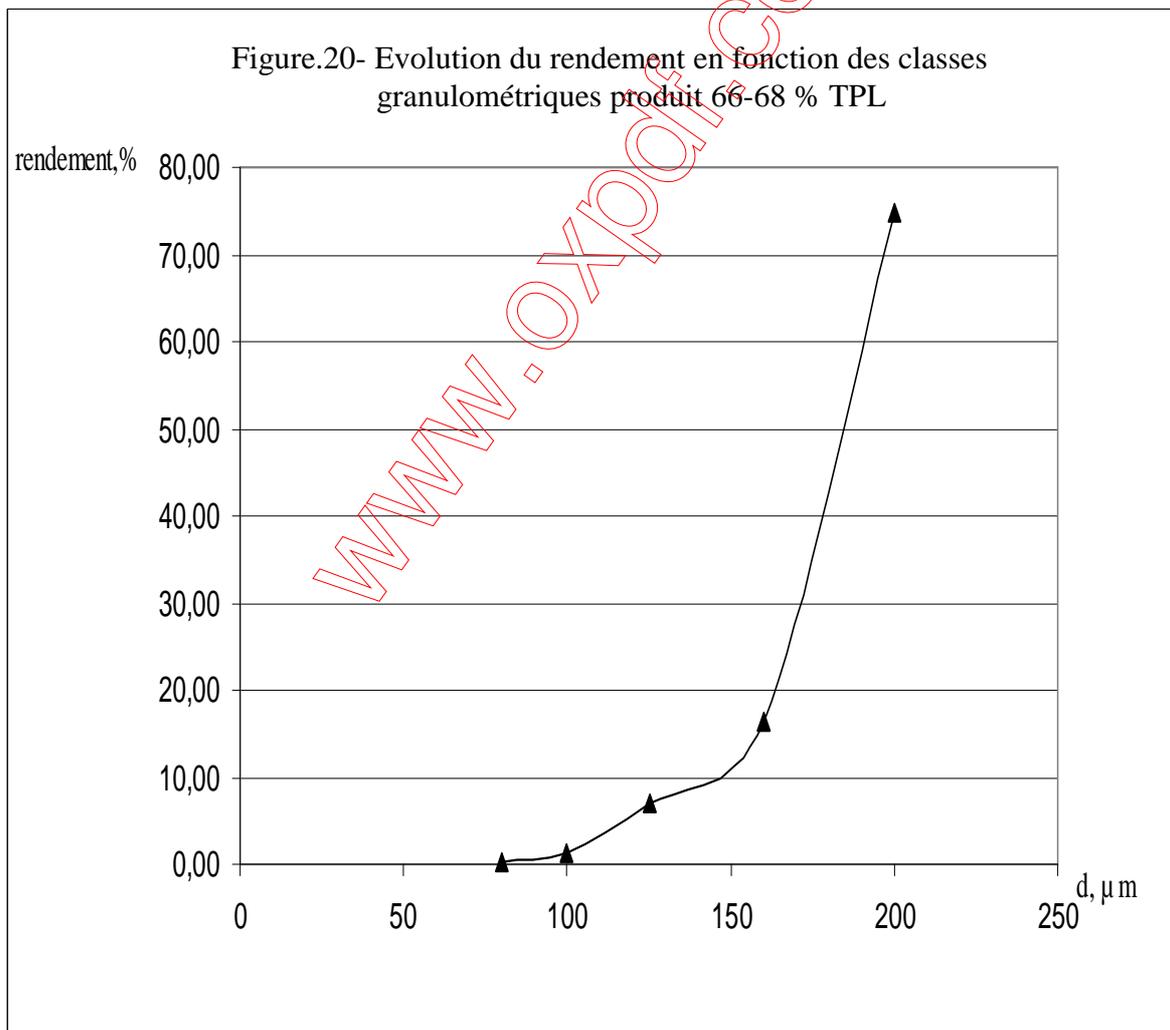
En général le phosphate 66 -68 % TPL est le plus commercialisé du fait qu'il représente une qualité beaucoup plus supérieur par rapport aux deux autres produits (phosphate 63-65 % TPL destiné pour la transformation et le phosphate 63-65 % TPL destiné pour l'épandage direct ) que se soit pour la granulométrie ou pour la majorité des oxydes et éléments chimiques .

Tableau.8-Analyse chimique du phosphate 66-68% TPL par classe granulométrique

Classes granulométriques	66/68	200	160	125	100	80	-80
Oxydes et Eléments Chimiques							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	30.36	30.50	30.31	29.77	27.29	25.93	25.30
CO <sub>2</sub> %	6.02	5.85	6.02	6.69	9.45	11.04	11.70
CaO %	51.04	51.25	50.92	49.88	45.64	43.54	42.25
MgO %	0.71	0.65	0.73	1.09	2.95	3.95	4.11
F %	3.85	4.01	3.85	3.38	2.90	1.95	1.81
SiO <sub>2</sub> %	1.55	1.05	1.15	3.04	4.25	4.98	6.01
Na <sub>2</sub> O %	1.13	1.10	1.11	1.15	1.25	1.80	1.88
K <sub>2</sub> O %	0.08	0.09	0.07	0.09	0.11	0.25	0.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.41	0.45	0.42	0.35	0.31	0.28	0.25
Zn (ppm)	55	44	56	75	100	120	150
As (ppm)	8	6	8	8	9	9	9
Pb (ppm)	6	6	6	6	7	7	7
CL (ppm)	405	480	415	329	280	180	155
Cd (ppm)	15	12	16	18	25	30	35

Tableau.9-Analyse granulométrique de l'échantillon 66-68 % TPL

Echant 66/68 % TPL	Poids, g	Rendement,%
Global	926.91	99.99
+0.200	693.74	74.84
-0.200+0.160	151.91	16.39
-0.160+0.125	64.78	6.99
-0.125+0.100	10.88	1.17
-0.100+0.08	3.26	0.35
-0.08	2.34	0.25



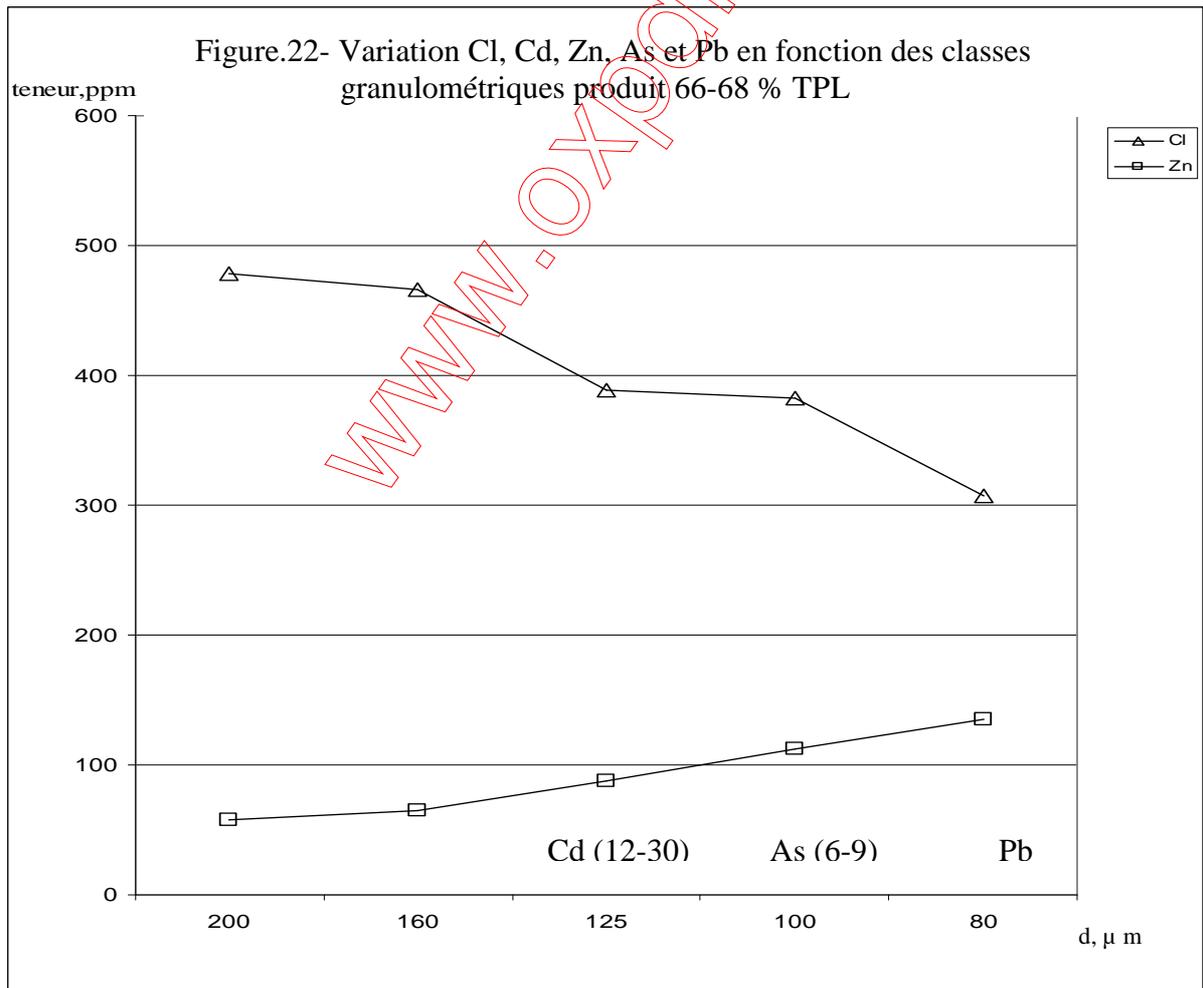
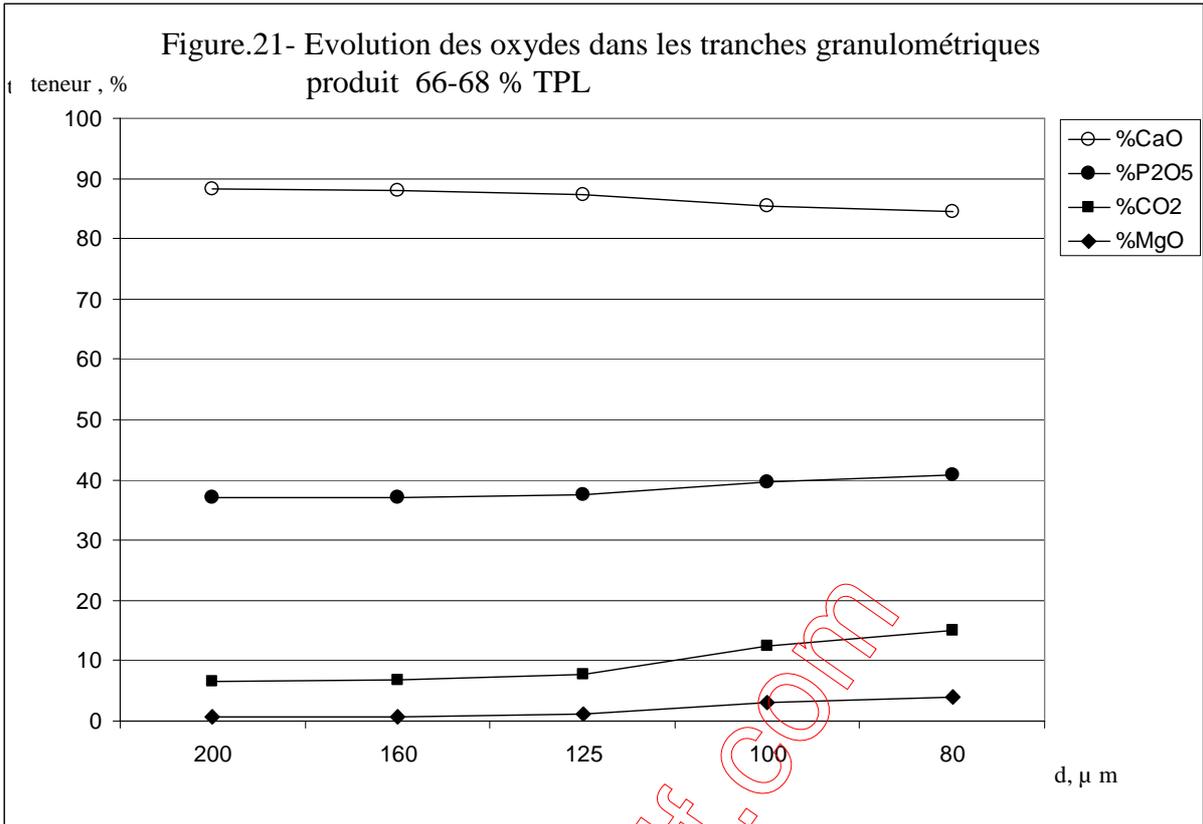


Tableau.10-Analyse chimique par classe granulométrique phosphate 63-65 % TPL

Classes granulométriques Oxydes Et Elément Chimique	63/65 Transformation	200	160	125	100	80	-80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	30.02	30.31	30.17	29.30	27.08	24.28	23.09
CO <sub>2</sub> %	6.52	6.02	6.35	7.36	9.86	13.04	14.38
CaO %	50.31	50.91	50.51	49.00	45.22	40.30	38.68
MgO %	0.89	0.75	0.85	1.38	2.98	4.29	4.96
F %	3.62	3.95	3.75	3.31	2.86	1.65	1.52
SiO <sub>2</sub> %	2.01	1.18	1.95	2.69	4.38	6.20	6.75
Na <sub>2</sub> O %	1.10	1.10	1.11	1.14	1.01	1.22	1.45
K <sub>2</sub> O %	0.10	0.08	0.09	0.12	0.15	0.16	0.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.39	0.41	0.38	0.36	0.29	0.25	0.22
Cl (ppm)	395	420	401	301	270	172	144
Cd (ppm)	17	15	17	20	27	38	41
Zn (ppm)	68	58	65	88	112	135	201
As (ppm)	8	7	7	9	10	11	11
Pb (ppm)	7	6	6	7	7	7.5	7.5

Tableau.11-Analyse granulométrique de l'échantillon 63-65 % TPL

Echant 63/65 % TPL Transformation	Poids, g	Rendement, %
Global	991.85	100
+0.200	679.22	68.48
-0.200+0.160	163.03	16.44
-0.160+0.125	85.31	8.60
-0.125+0.100	33.51	3.38
-0.100+0.08	14.70	1.48
-0.08	16.08	1.62

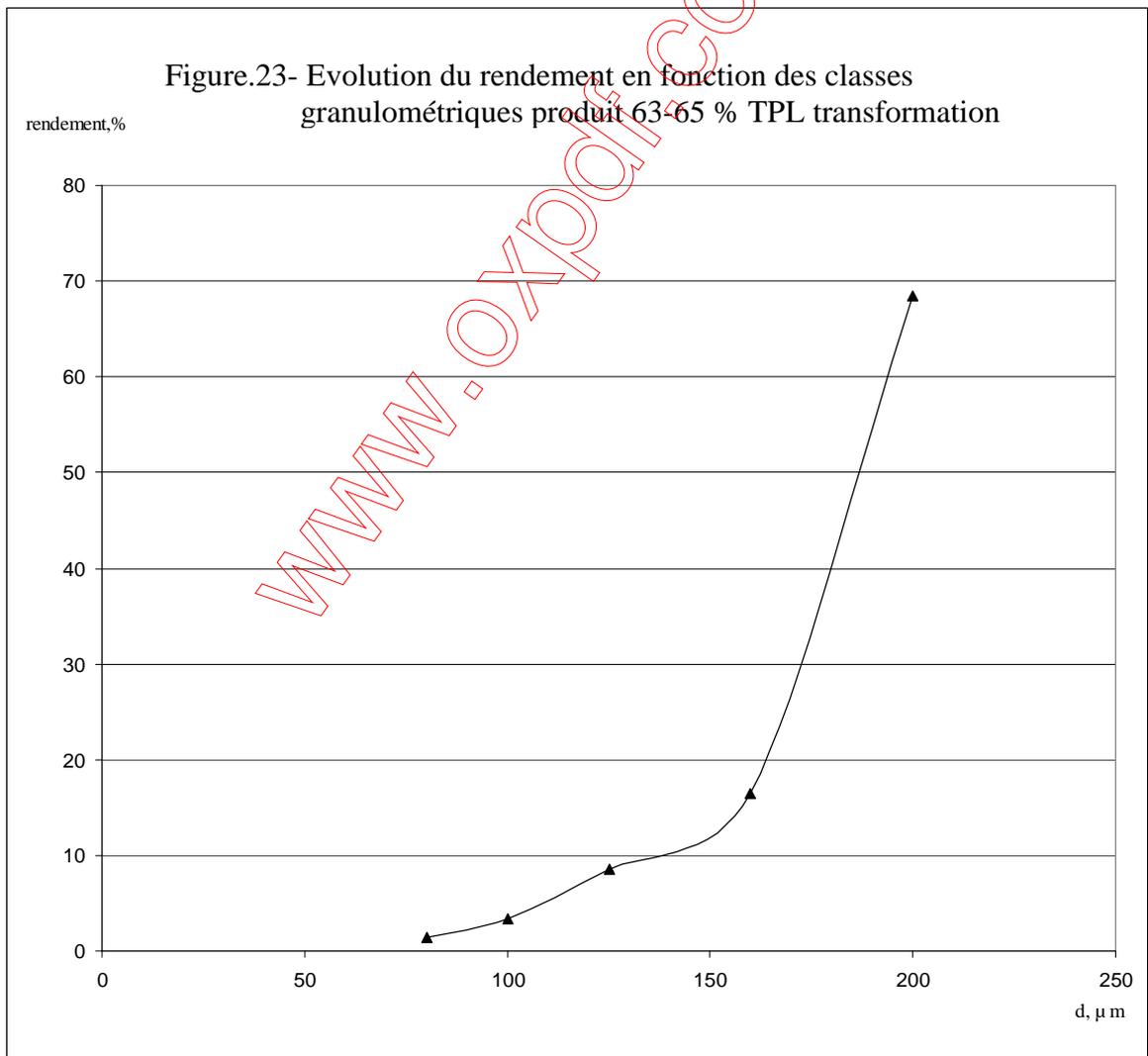


Figure.24- Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques produit 63-65 % TPL transformation

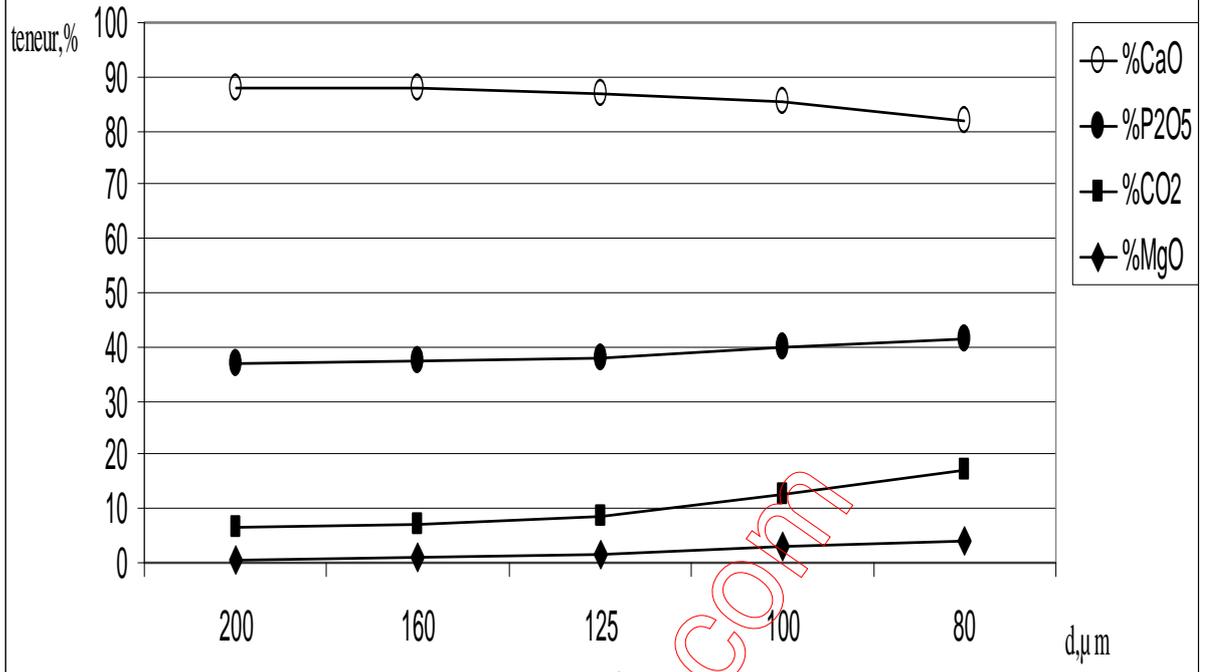


Figure.25- Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques produit 63-65 % TPL transformation

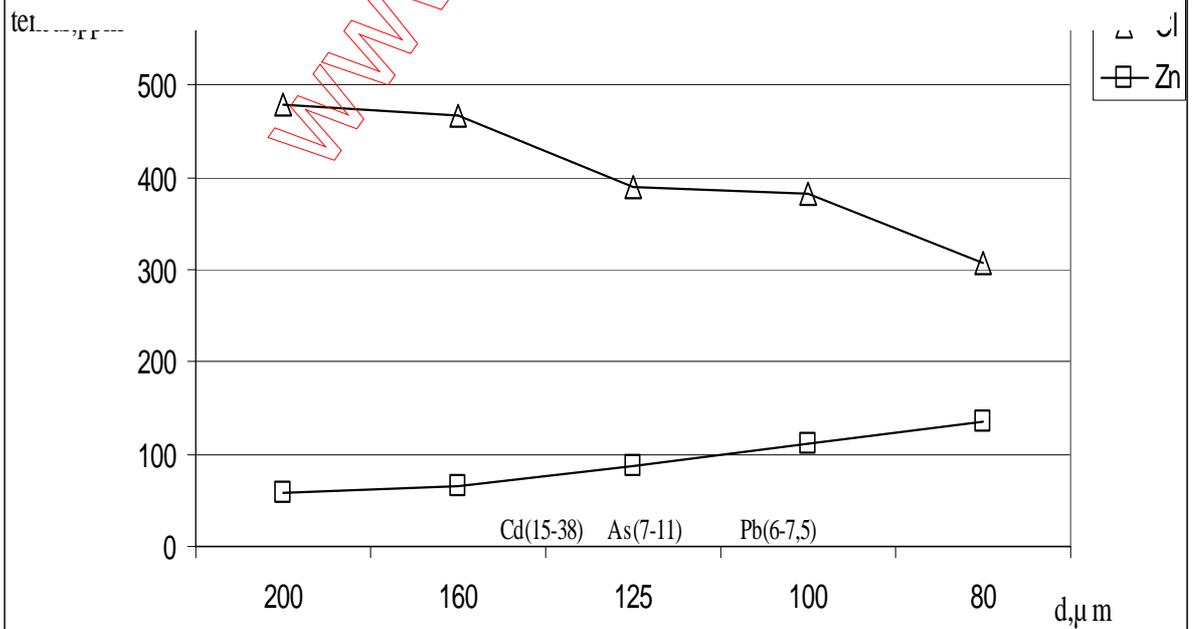
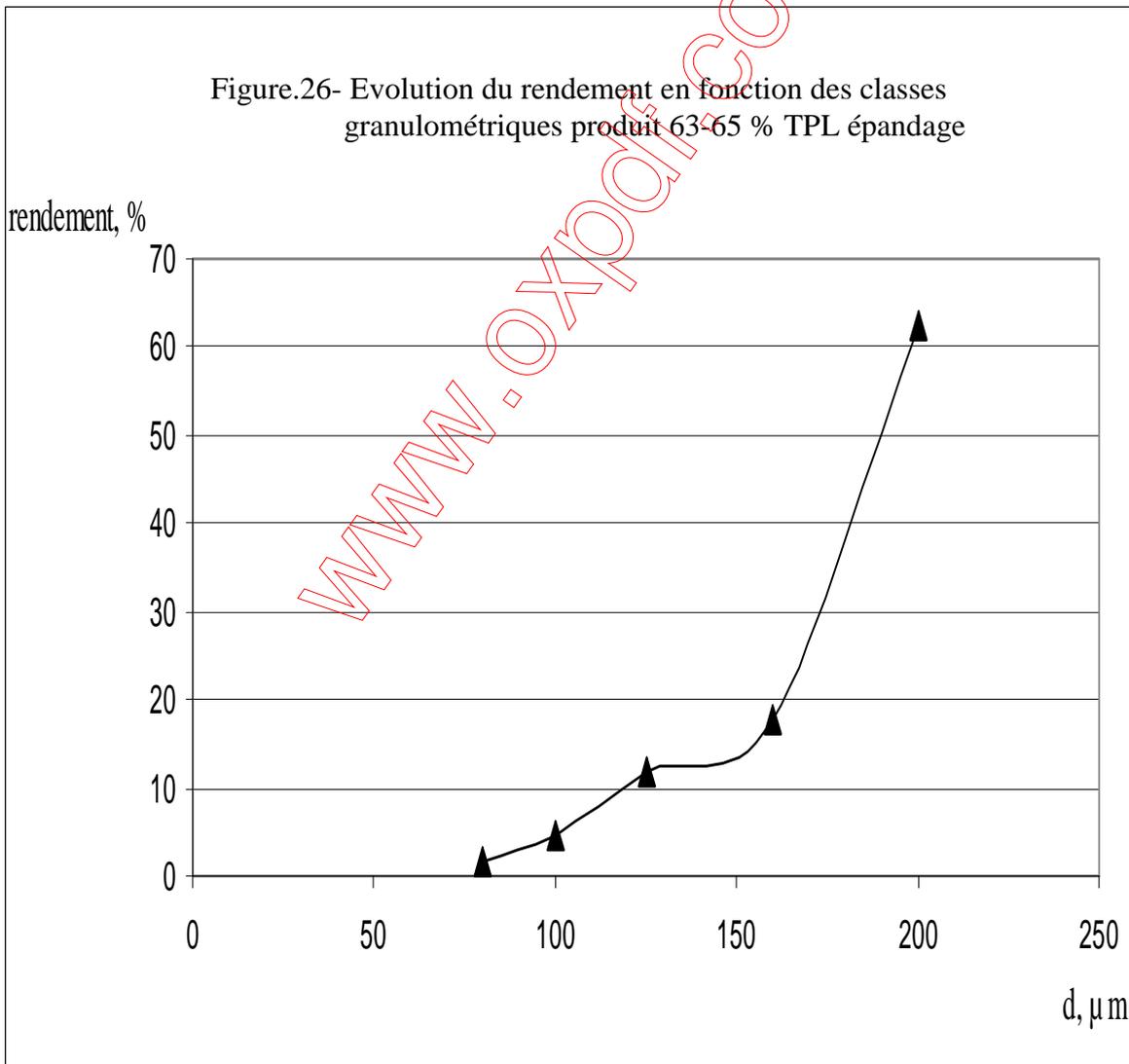


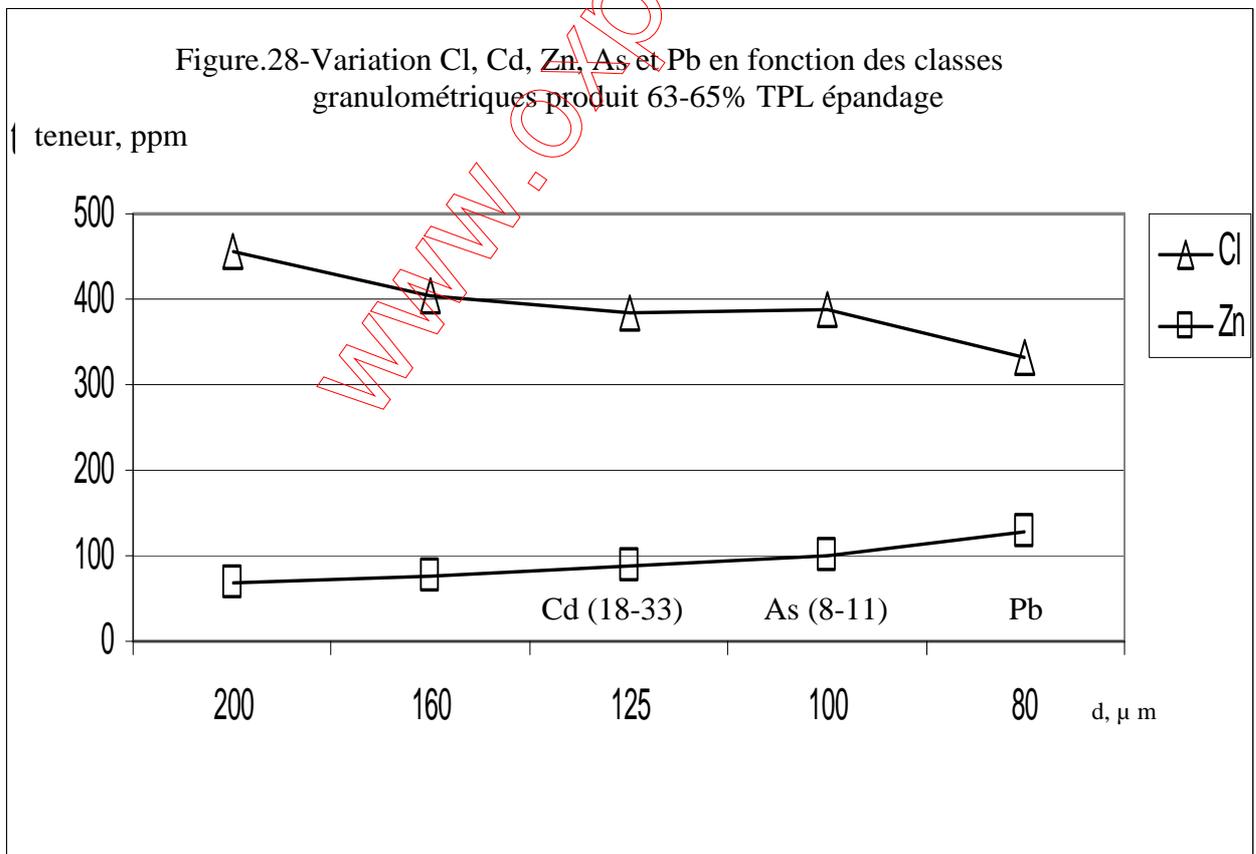
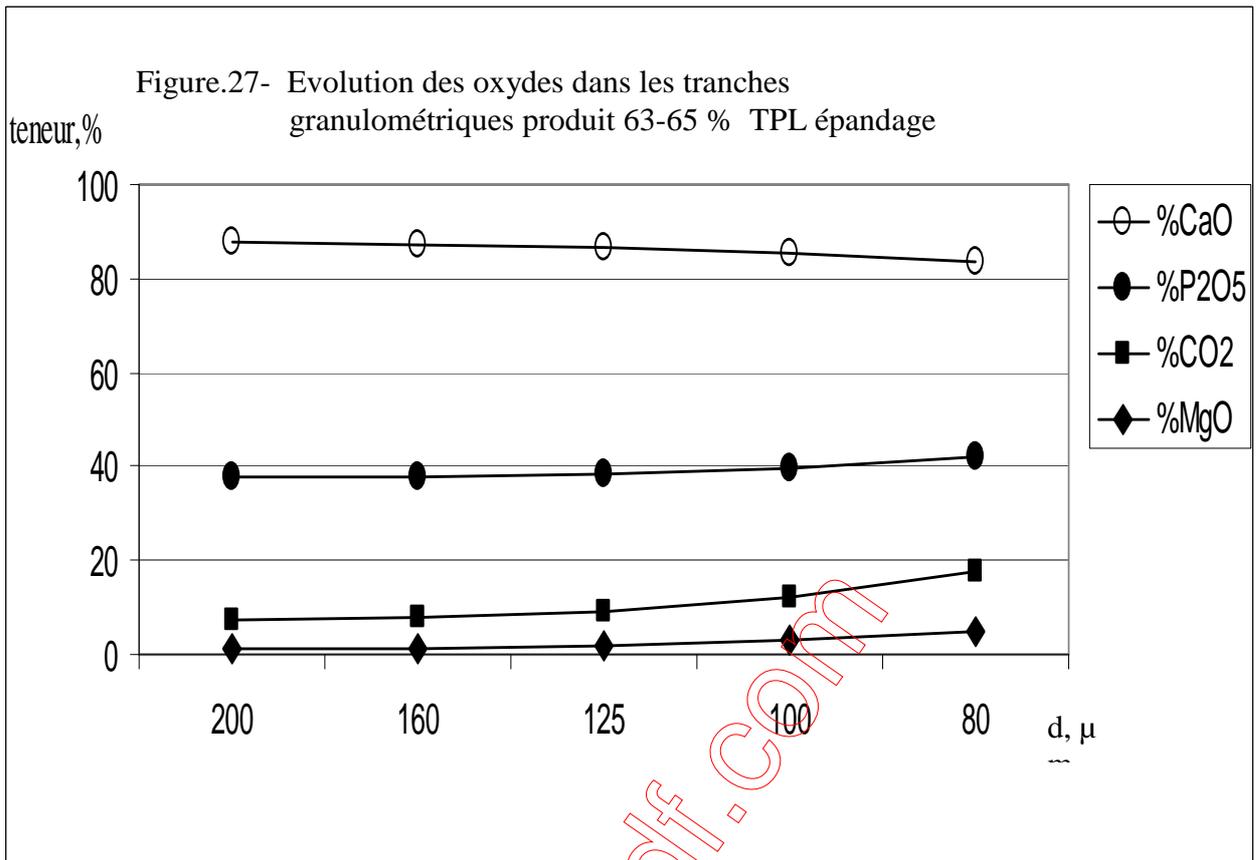
Tableau.12-Analyse chimique par classe granulométrique de l'échantillon  
63-65 % TPL épandage

Classe granulo Elément Chimique	63/65 % TPL épandage	200	160	125	100	80	-80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	29.50	29.95	29.78	29.00	27.30	24.71	22.90
CO <sub>2</sub> %	7.25	6.66	6.86	7.58	9.50	12.66	14.66
CaO %	49.42	50.11	49.64	48.14	45.59	41.51	38.37
MgO %	1.30	0.96	1.10	1.58	2.85	4.88	5.36
F %	3.25	3.58	3.41	3.18	2.95	1.82	1.38
SiO <sub>2</sub> %	3.11	2.15	2.98	2.77	4.15	6.02	7.22
Na <sub>2</sub> O %	1.09	1.10	1.12	1.12	1.24	1.34	1.58
K <sub>2</sub> O %	0.12	0.08	0.10	0.10	0.11	0.25	0.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.35	0.39	0.36	0.34	0.30	0.28	0.20
Cd (ppm)	21	18	19	22	27	33	45
Zn (ppm)	79	70	76	89	99	128	300
As (ppm)	9	8	10	10	11	11	11
Pb (ppm)	9	8.5	9	9	9	8	8
Cl (ppm)	320	388	330	296	288	206	155

Tableau.13-Analyse granulométrique de l'échantillon 63-65 % TPL épandage

Echant 63/65 % TPL	Poids, g	Rendement, %
Global	1244.47	100
+0.200	777.16	62.45
-0.200+0.160	222.00	17.84
-0.160+0.125	147.84	11.88
-0.125+0.100	57.46	4.62
-0.100+0.08	20.59	1.65
-0.08	19.42	1.56





### V.2.3-Caractérisation des rejets

Dans l'usine de traitement de djebel Onk nous pouvons distinguer deux types de rejets fines de dépoussiérage et schlamms du débouillage

#### V.2.3.1-Caractérisation des fines de dépoussiérage

C'est un rejet solide sous forme de fine provenant généralement du traitement à sec (physico-mécanique) au niveau de l'atelier de dépoussiérage, sur le plan granulométrique les particules inférieures à 80 microns dominent la composition soit 96 % (tableau.15) . Sur le plan chimique (analyse du global) ces fines font 24,51 % en  $P_2O_5$  et 4.45 % en MgO avec un Cl de 450 ppm, un Cd de 26 ppm et un Zn de 300 ppm (tableau.14). La tranche (96 % du poids) caractérisée par une teneur en  $P_2O_5$  de 24.40 % et 4.48 % en MgO, les éléments traces sont 4.55 ppm en Chlore

( Cl ), 26 ppm en Cadmium ( Cd ), 305 ppm en Zinc ( Zn ) et 14 ppm en Plomb ( Pb ).

De la même manière précédente une illustration graphique a été réalisée pour ce rejet en fonction des tranches granulométriques (Figures.29 à 31).

#### V-2-3-2 Caractérisation des schlamms :

C'est un rejet liquide sous forme de schlamms provenant principalement de l'atelier de débouillage, la granulométrie est caractérisée par des particules très fines car les supérieures à 80 microns ne représentent que 5,5 % (tableau.17) , généralement les schlamms ont une teneur en  $P_2O_5$  de l'ordre de 22,45 % avec une teneur en MgO frôlant les 4 % , 450 ppm en Chlore ( Cl ), 26 ppm en Cadmium ( Cd ) et 300 ppm en Zinc ( Zn ).

La tranche granulométrique supérieure à 80 microns est la plus riche en  $P_2O_5$  soit 23.5 % par rapport aux autres tranches granulométriques composant les schlamms et une teneur en MgO la plus faible soit 3.5 % (tableau.16). Les courbes de variations du rendement en fonction des tranches granulométriques, évolution des oxydes en fonction des classes granulométriques et variation des éléments traces Cl, Cd, As, Zn et Pb en fonction des classes granulométriques (Figures.32 à 34)

- Remarque : en général sur le plan qualité les fines de dépoussiérages sont plus riches que les schlamms de débouillage (teneur en  $P_2O_5$  des fines supérieur à la teneur en  $P_2O_5$  des schlamms).

Tableau.14-Analyse chimique des fines de dépeussierage par classess granulométriques

Classe granulométrique							
Oxydes et Elément Chimique	Fine dép. Glob	+0.200	-0.200+0.160	-0.160+0.125	-0.125+0.100	-0.100+0.08	-0.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	24.51	29.50	28.91	26.48	23.63	21.83	24.40
CO <sub>2</sub> %	12.33	6.66	7.33	10.66	13.33	15.33	12.00
CaO %	40.98	49.05	48.15	43.95	39.39	36.45	40.48
MgO %	4.45	1.51	1.81	3.95	5.55	6.12	4.48
F %	2.15	3.50	3.25	2.95	2.01	1.85	2.11
SiO <sub>2</sub> %	5.00	3.20	3.80	4.02	6.66	8.25	5.10
Na <sub>2</sub> O %	1.30	1.12	1.21	1.28	1.41	1.50	1.35
K <sub>2</sub> O %	0.09	0.09	0.09	0.08	0.10	0.11	0.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.55	0.42	0.45	0.51	0.70	0.78	0.51
Cd (ppm)	26	21	23	25	31	38	26
Zn (ppm)	300	102	150	222	380	500	305
As (ppm)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Pb (ppm)	15	17	18	14	10	8	14
CL (ppm)	450	455	395	400	555	600	455

Tableau.15-Analyse granulométrique des fines de dépoussiérage

Echantillon Fines dépoussiérage	Poids, g	Rendement, %
Global	1047.22	100
+0.200	1.43	0.14
-0.200+0.160	1.82	0.17
-0.160+0.125	5.66	0.54
-0.125+0.100	10.26	0.98
-0.100+0.08	24.94	2.38
-0.08	1003.11	95.79

Figure.29- Evolution du rendement en fonction des classes granulométriques fines de dépoussiérage

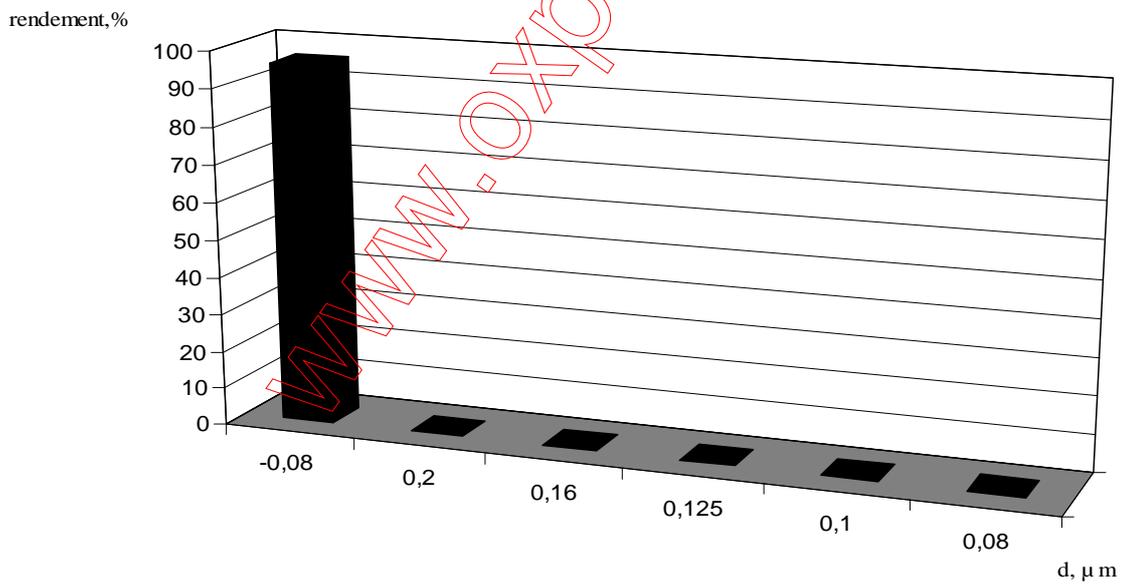


Figure.30-Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques fines de dépoussiérage

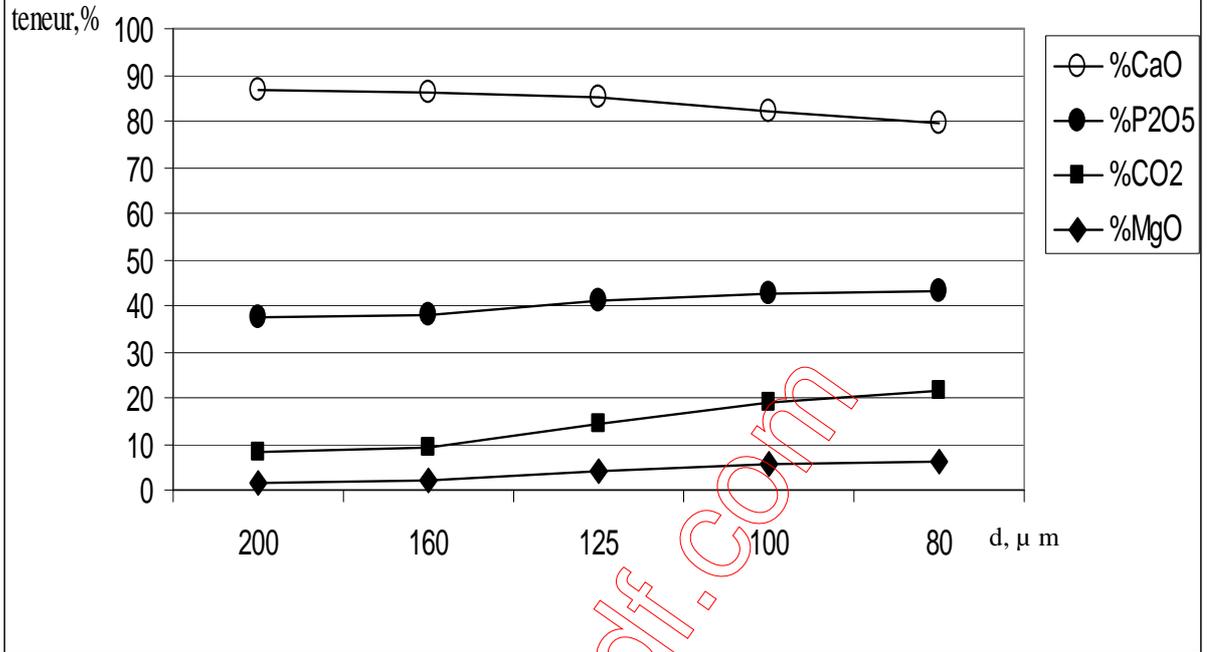


Figure.31-Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques fines de dépoussiérage

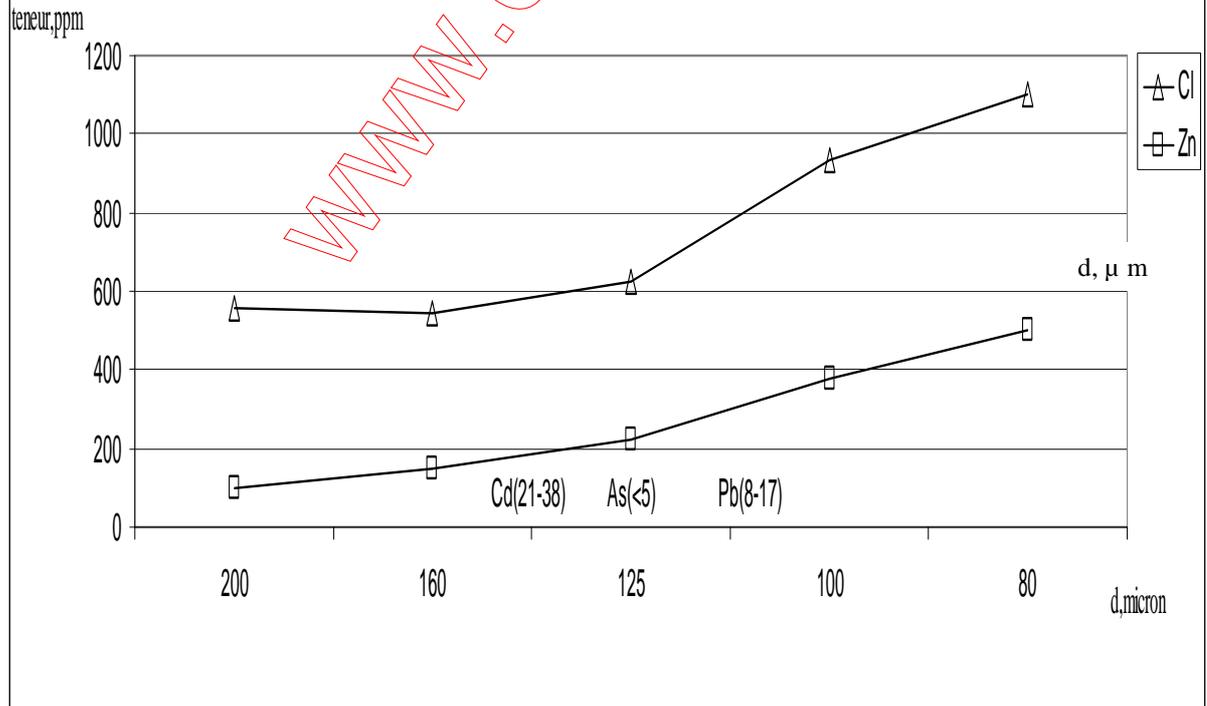


Tableau.16-Analyse chimique par classe granulométrique des schlamms

Classe granulométrique  Oxydes Elément Chimique	Schlamms	+0.200	+0.160	+0.125	+0.100	+0.08	+0.063	+0.050	<0.050
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	22.45	00	00	00	00	23.85	19.15	18.90
CO <sub>2</sub> %	12.4	00	00	00	00	11.28	15.16	15.49	12.46
CaO %	44.00	00	00	00	00	45.52	33.17	31.80	33.21
MgO %	3.98	00	00	00	00	3.25	5.59	7.22	5.49
F %	2.10	00	00	00	00	2.80	2.05	1.85	2.05
SiO <sub>2</sub> %	5.00	00	00	00	00	5.80	7.20	12.00	8.05
Na <sub>2</sub> O %	1.30	00	00	00	00	1.22	1.45	1.58	1.48
K <sub>2</sub> O %	0.09	00	00	00	00	0.08	0.10	0.09	0.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.55	00	00	00	00	0.52	0.60	0.75	0.65
Cl (ppm)	450	00	00	00	00	400	258	235	300
Cd (ppm)	26	00	00	00	00	25	21	15	22
Zn (ppm)	300	00	00	00	00	300	295	200	281
As (ppm)	< 5	00	00	00	00	< 5	< 5	< 5	< 5
Pb (ppm)	15	00	00	00	00	15	12	8	9

Tableau.17-Analyse granulométrique des schlamms

Echantillon Schlamms	Poids, g	Rendement,%
Global	1000	100
+0.200	00	00
+0.160	00	00
+0.125	00	00
+0.100	00	00
+0.08	55	5.50
+0.063	752.2	75.22
+0.050	155.5	15.55
-0.050	37.3	3.73

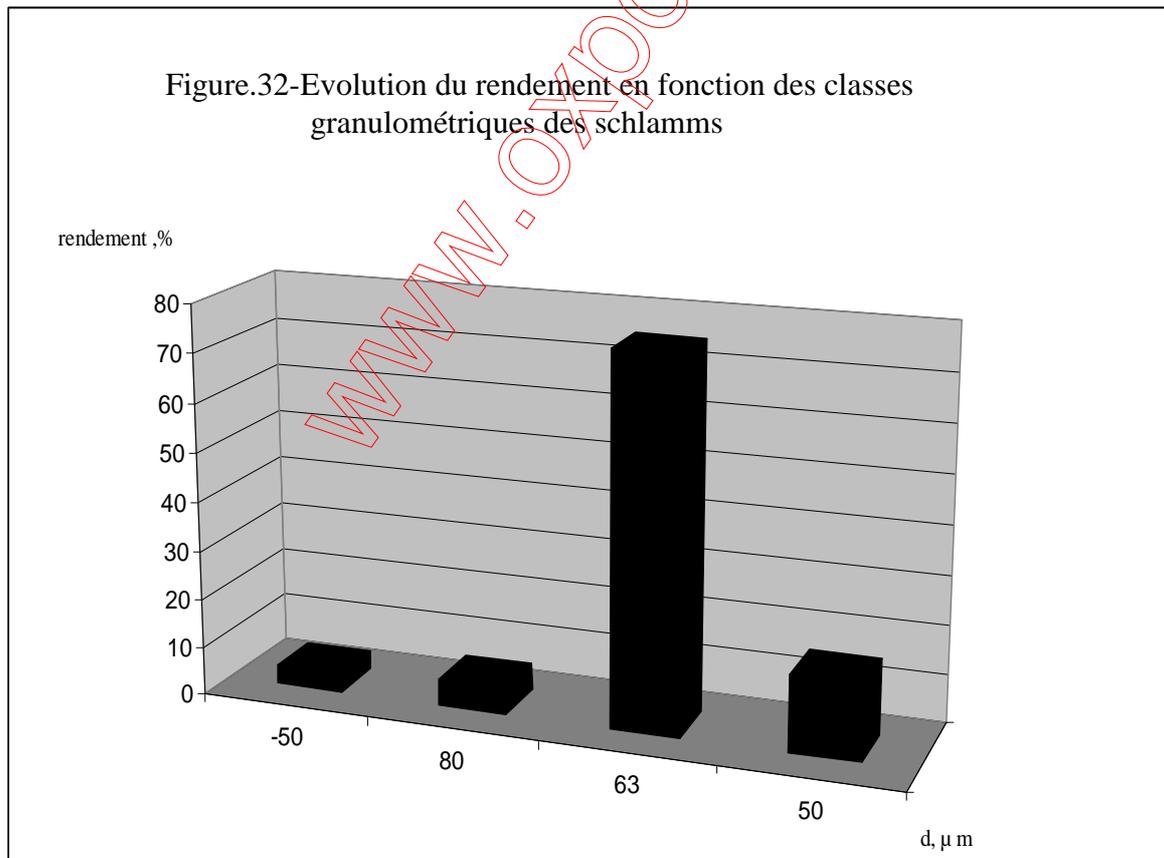


Figure.33-Evolution des oxydes dans les tranches granulométriques des schlamms

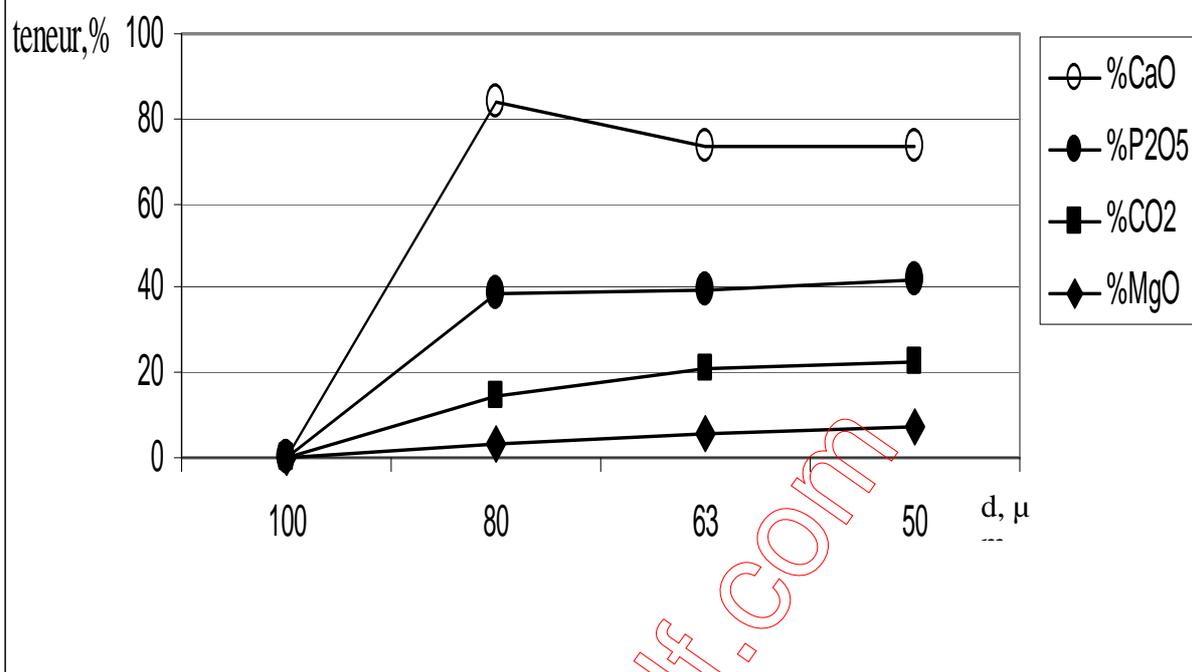
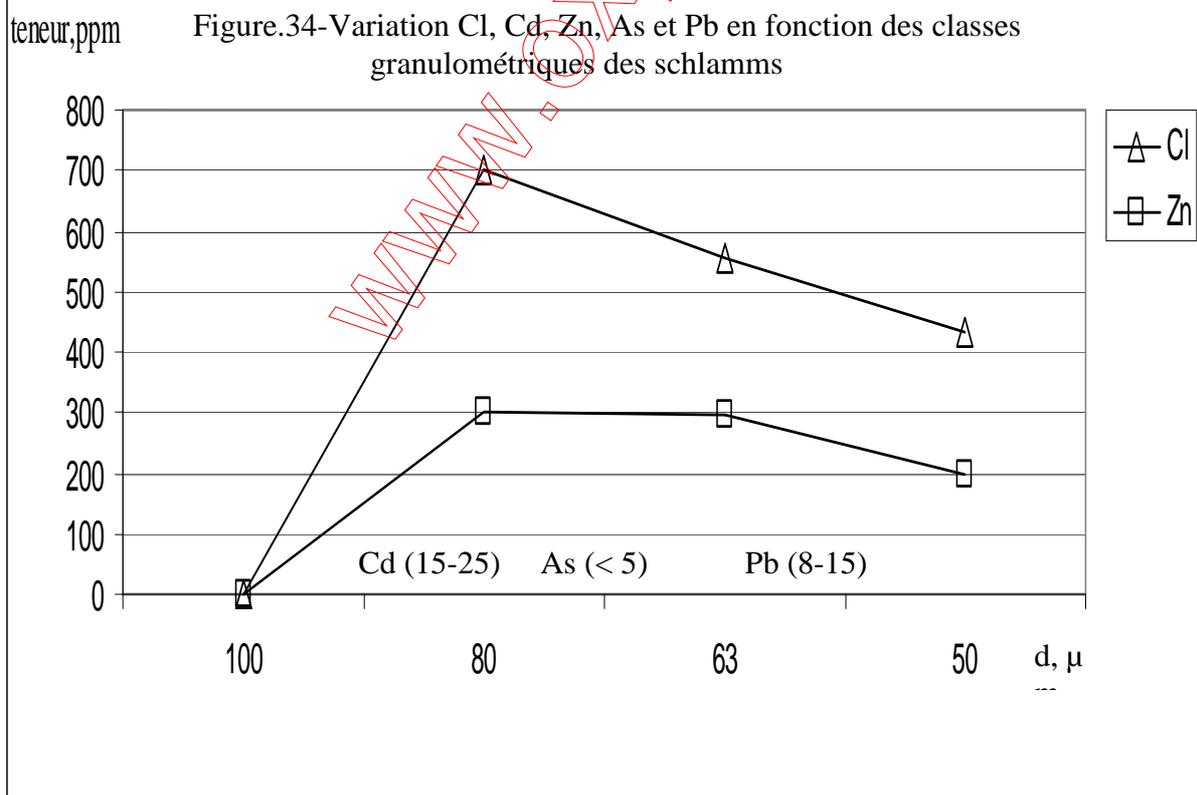


Figure.34-Variation Cl, Cd, Zn, As et Pb en fonction des classes granulométriques des schlamms



#### V-2-4 Caractérisation de l'eau de traitement :

Le complexe minier utilise pour le traitement humide (par débouillage), une eau industrielle d'origine des quelques puits propriétés de Ferphos, ces derniers se trouvant quelques kilomètres loin du complexe.

En général l'usine est approvisionnée d'une quantité qui varie entre 4000 et 5000 m<sup>3</sup> /j . Selon le plan d'exploitation, la consommation est de 0,64 m<sup>3</sup>/t débouillage, avec un rendement poids de l'atelier de l'ordre de 72 %.

Nous avons procédé à l'analyse des différentes eaux pour en savoir plus sur la qualité, à savoir :

- Eau darmoune (eau de traitement) ;
- Eau bac (eau recyclée) ;
- Eau épaisseur ;
- Eau boue vers l'oued.

Les résultats d'analyse pour les éléments permettant de juger la qualité d'eau sont représentés dans le tableau.18 ci-dessous, citant à titre d'exemple sans pour autant être limitatif le pH qui demeure pratiquement de valeurs proches pour les quatre échantillons analysés (eau Darmoun, eau recyclée de la bache, eau épaisseur et eau de boue vers l'oued) ou la valeurs de 7.50 à 7.78 , aussi pour les différents métaux lourds analysés les résultats obtenus sont d'une variation très légère à savoir pour le Pb les valeurs varient de 0.01 à 0.02 ppm, pour le Zn de 1.25 à 1.30 ppm et pour le Cd de 0.05 à 0.08 ppm.

En général la lecture de ces résultats permet de déduire que les différents effluents n'ont pas un grand impact (contamination) sur la qualité de l'eau utilisée pour le traitement. Cela peut être expliqué par le fait que les éléments métalliques (métaux lourds), qui sont des contaminants se trouvant essentiellement dans le solide du rejet (dans les classes fines des rejets).

Tableau.18-Analyse des eaux

Echantillons Analyses	Eau darmoune alimentation de l'atelier	Bâche d'eau Recyclée	Eau Epaississeur	Eau Boue vers l'oued
Date de prélèvement	27/03/09	27/03/09	27/03/09	27/03/09
Heure de prélèvement	11 h 00	11 h 05	11 h 00	11 h 30
pH	7.60 (19 °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 <sup>++</sup> (mg/l)	210.2	260.5	289.6	308.6
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	105.23	107.0	131.2	175.1
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	1250	1292.4	1500	1794.6
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	0.0014	< 5 ppm	< 5 ppm	< 5 ppm
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	238.8	238.8	419	419
Na <sup>+</sup> (mg/l)	60	65	65	65
K <sup>+</sup> (mg/l)	0.50	0.30	0.40	0.30
Cd <sup>+++</sup> (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

### V.3- Conclusion

Suite à la caractérisation physicochimique des rejets (fines de dépoussiérage et schlamms de débouillage) étudiés on constate ce qui suit :

- L'eau recyclée réinjectée dans le circuit de traitement sur le plan qualité ne pose pas de problème de contamination du fait que les effluents se trouvent dans les fines (partie solide du rejet) ;

- Le complexe peut gagner d'avantage sur la quantité d'eau récupérée une fois l'endroit du stockage des boues sera change (utilisé l'espace épuisé par l'exploitation au niveau de la zone 2 djebel Djemidjema) peut ramener la solution adéquate soit pour récupérer plus d'eau et préserver l'environnement) ;

- Les schlamms évacués d'une façon non contrôlée vers l'oued peuvent causer une contamination du sol sur tout la concentration des effluents se trouve dans les particules fines (on signale le manque de réglementation c'est-à-dire des textes qui réglementent l'émission des effluents) ;

- Une augmentation du rendement poids de l'atelier de débouillage par la récupération d'avantage d'une partie de la fraction fine des schlamms engendrera sans doute la diminution de la teneur du global et une telle éventualité nécessite d'opérer des études dont l'objectif de mettre au clair un procédé approprié pour la récupération.

# CHAPITRE VI- ESSAIS DE SEPARATION GRAVIMETRIQUE ET D'EGOUTTAGE

## VI.1-INTRODUCTION

En général tous les procédés gravimétriques d'enrichissement sont basés sur la différence de la masse spécifique des différents composants et sur la différence de la vitesse de chute pendant la sédimentation, on distingue trois groupes de procédés de séparation :

- Méthodes de séparation par nappe pelliculaire fluante ;
- Méthode de séparation par accélération différentielle ;
- Méthodes d'enrichissement par milieu dense.

Concernant les essais réalisés au niveau du laboratoire de l'université de Baji Mokhtar Annaba, deux échantillons des rejets (schlamm de débouillage et fines de dépoussiérage) ont été ramenés du complexe minier de Djebel Onk (Figure.35).

On a essayé de voir les grains de l'échantillon fines de dépoussiérage à l'aide d'un microscope assisté par ordinateur dont les résultats sont montrés dans la figure (Figure.36).

Notre programme d'essai consiste à réaliser deux types d'essais :

- Essai de sédimentation libre pour les schlamm ;
- Essai de concentration par accélération différentielle pour les fines de dépoussiérage.

## VI.2-ESSAI DE SEDIMENTATION LIBRE POUR LES SCHLAMMS

Le principe consiste principalement à observer la décantation naturelle et libre sans influence extérieure des rejets fins boueux (schlamm) en faisant varier le temps de décantation à chaque fois avec le prélèvement des échantillons pour analyser la qualité de l'eau et vérifier aussi que cette eau ne contient pas de phosphate.

Pour cela on a essayé de faire varier le temps de la manière suivante : 3 h, 6h, 12h, et 24h.

Le prélèvement des échantillons est effectué vers la fin du temps de sédimentation où le gâteau de phosphate prend sa forme finale ainsi que la distinction entre l'épaisseur de l'eau et celle du phosphate est très remarquable voir figure(Figure.37), généralement l'épaisseur du gâteau est égale au un quart de l'épaisseur totale et les trois quarts eaux



Figure.35-Les deux échantillons pour les essais (schlamms et fines)

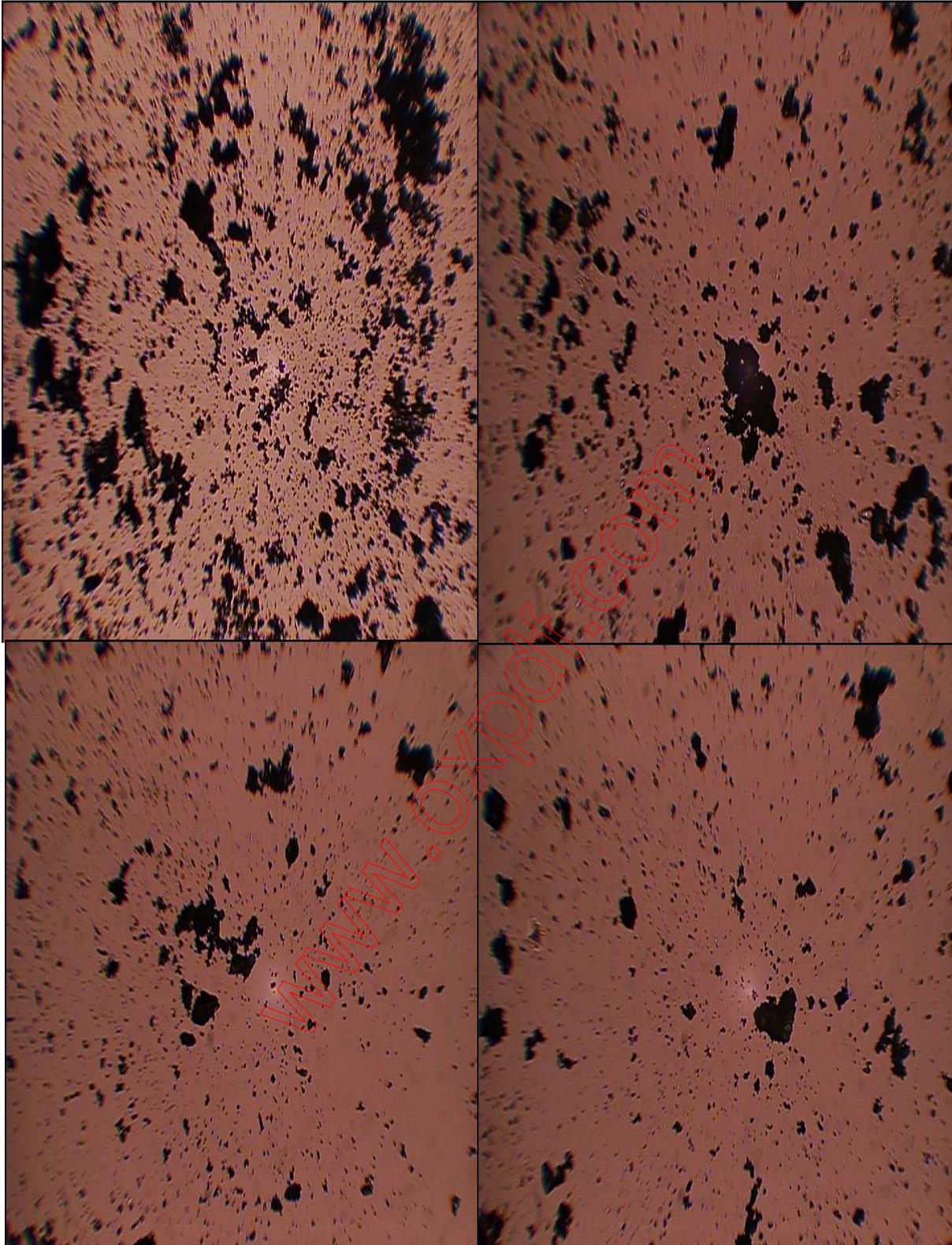


Figure.36-Vues des fines de dépoussiérage par microscope assisté par ordinateur



Figure.37-décantation (sédimentation) naturelle des schlamms et formation du gâteau Phosphaté.

Remarque au cours des essais réalisés au laboratoire d'enrichissement des minerais et en manipulant les différents échantillons on a remarqué que :

- la sédimentation est assez rapide et que la différenciation entre l'eau claire et le Phosphate (gâteau) s'observe dès les cinq premières minutes ;
- peu de mousse après la décantation ce qui peut être expliqué par une faible présence des argiles.

#### VI.2.1-Détermination du rapport liquide- solide des schlamms

Pour cela trois échantillons de 1 litre chacun ont permis de déterminer le rapport liquide solide et séchage à faible température, la pesée du solide a donné les valeurs suivantes : 185 g ; 180 g et 170 g ce qui donne les rapports suivants : 5,40 ; 5,55 et 5,88 tout cela permet de dire que en général le rapport liquide solide varie entre 5 et 6

#### VI.2.2-déterminations de la vitesse de sédimentation

Tellement la vitesse de sédimentation des schlamms est rapide, on a essayé de déterminer par la mesure continuée chaque cinq minute de l'épaisseur du gâteau ou bien de l'eau claire en fonction du temps de décantation durant la première heure dont les résultats d'observation sont représentés dans le tableau (tableau.19) et illustré par un graphe ci-dessous figure (Figure.38)

Après on a continué l'observation par la mesure de l'épaisseur du gâteau ou bien de l'eau chaque une heure jusqu'à 36 heures de décantation.

La décantation arrive à sa fin après la sixième heure de sédimentation se justifie par la stagnation de l'épaisseur du gâteau, pas plus de trois centimètres dans le récipient remarque vérifiée dans la totalité des essais réalisés dont les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (tableau.20) Ci-dessous et illustre par le graphe représenté dans la figure (Figure.39).

Durant la première heure de décantation on peut constater que la vitesse est plus rapide dans la première demi heure où l'épaisseur de l'eau claire varie de deux centimètres ( à cinq minutes de décantation ) pour atteindre une épaisseur de sept (07) centimètres (a la fin des trente premières minutes de décantation). Tandis que vers la fin de la deuxième demi heure l'épaisseur de l'eau claire varie lentement pour atteindre une épaisseur de 7.8 centimètres.

A partir de la troisième heure de décantation le gain en épaisseur du gâteau jusqu'à la fin de l'essai( après 36 h de sédimentation) ne dépasse guère 0.6 centimètres ce qui explique la rapidité de sédimentation durant les trois premières heures.

Tableau.19-Vitesse de Sédimentation durant la première Heure (Récipient 1 l )

Temps, mn	Epaisseur de l'eau claire en cm	Epaisseur du gâteau en cm
5	2	10,5
10	3,5	9,0
15	5,5	7
20	6,2	6,3
25	6,7	5,8
30	7	5,5
35	7,2	5,3
40	7,4	5,1
45	7,5	5,0
50	7,6	4,9
55	7,8	4,7
60	7,8	4,7

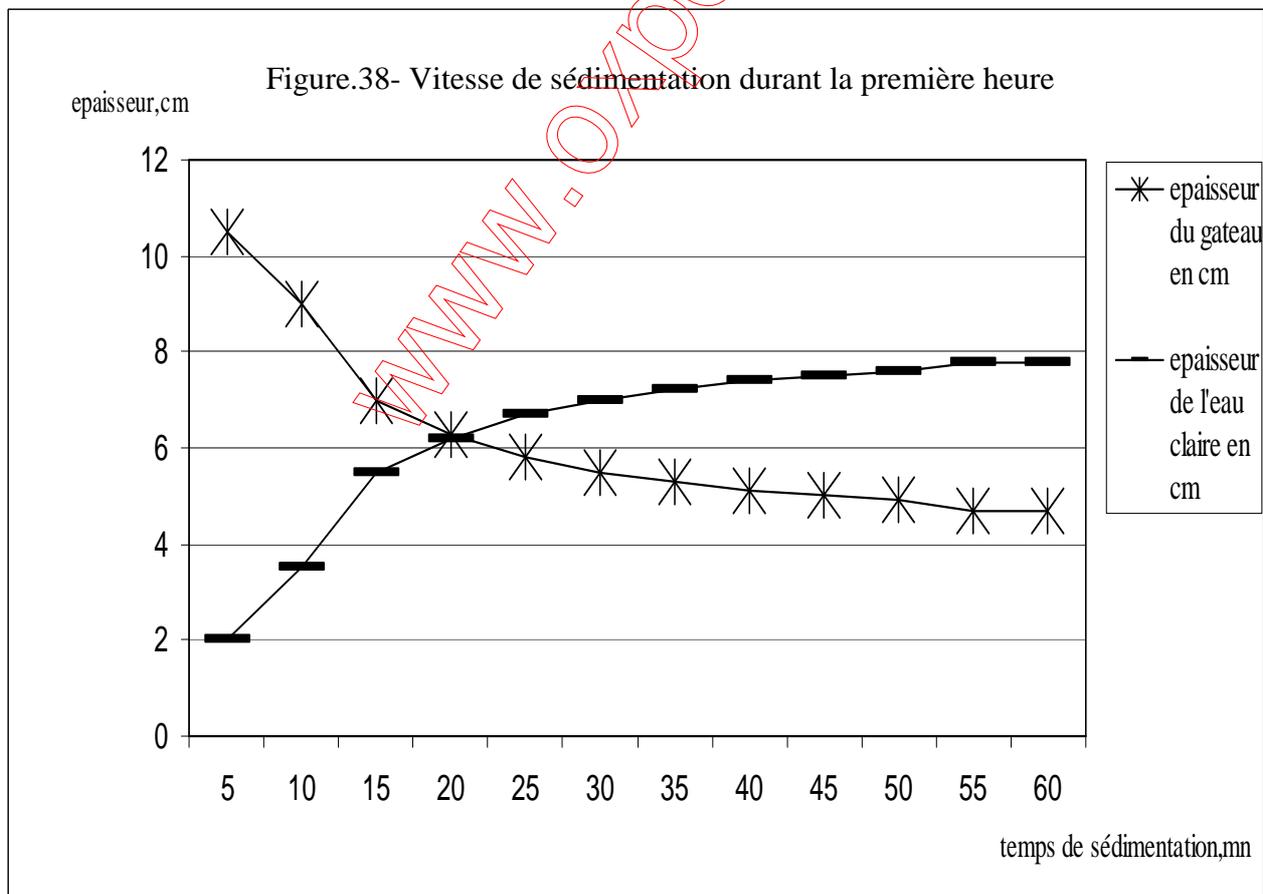
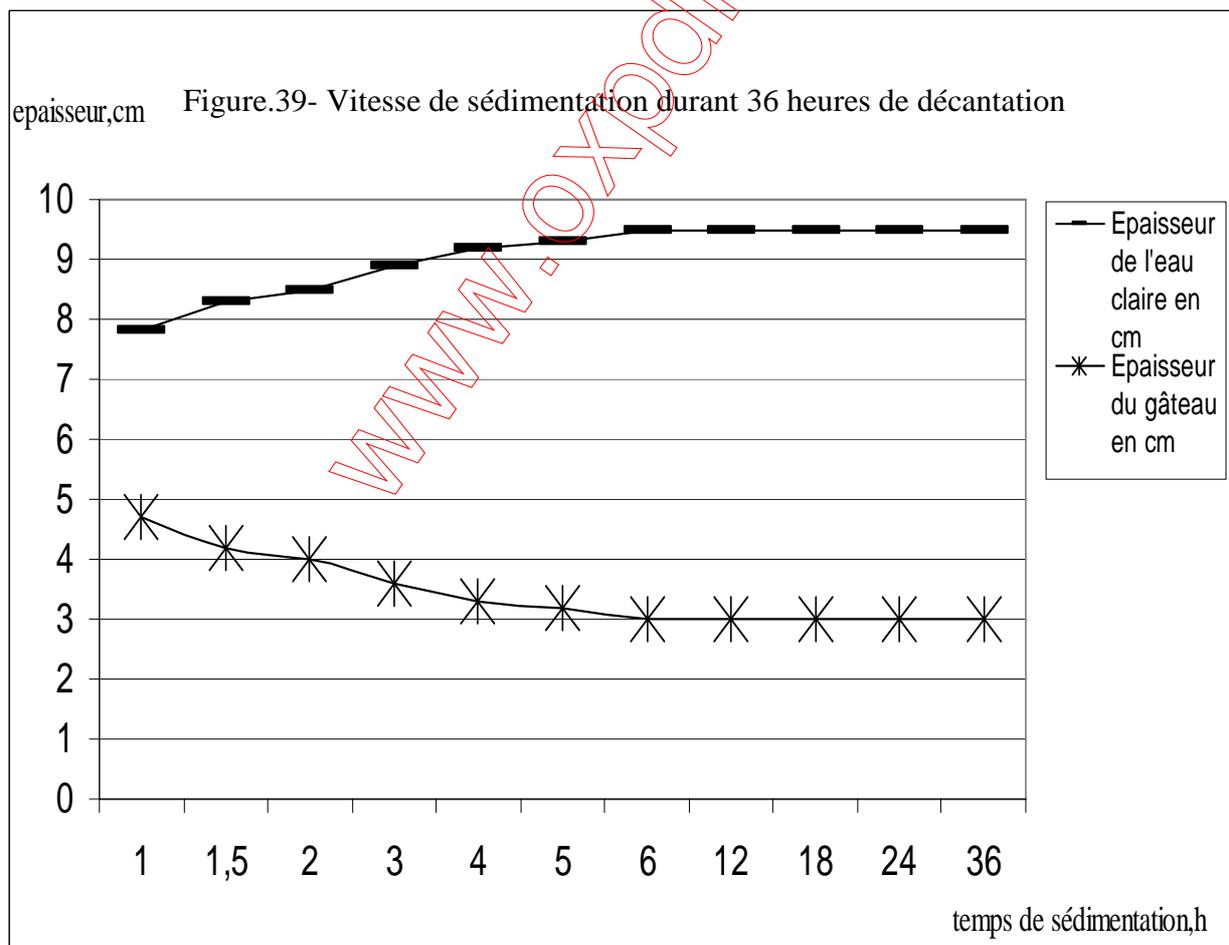


Tableau.20-Vitesse de Sédimentation durant 36 heures de décantation

Temps, h	Epaisseur de l'eau claire en cm	Epaisseur du gâteau en cm
1,0	7,8	4,7
1,5	8,3	4,2
2,0	8,5	4,0
3,0	8,9	3,6
4,0	9,2	3,3
5,0	9,3	3,2
6,0	9,5	3,0
12,0	9,5	3,0
18,0	9,5	3,0
24,0	9,5	3,0
36,0	9,5	3,0



### VI.2.3- Analyse de l'eau

Pour faire la liaison entre le temps de décantation (sédimentation) et la qualité de l'eau qui peut être récupérée et réinjecter dans le circuit d'eau au niveau de l'usine. Chaque fois que le temps fixé au préalable pour la sédimentation arrive à sa fin le niveau d'eau est divisé en trois valeurs égales après un prélèvement de trois échantillons d'eau est effectué, les résultats d'analyse des douze échantillons sont présentés dans le tableau 21.

L'interprétation des résultats obtenus montre en général l'eau utilisée dans le traitement pour les différents temps de sédimentation préserve sa qualité tel que pH, Cl,  $\text{SO}_4^{-2}$  et les autres éléments.

Il est à noter que les échantillons au nombre de douze ont eu une codification, au niveau du laboratoire d'enrichissement des minerais de l'université de Badji Mokhtar Annaba comme suit : Sam-1/24h/4l (c'est-à-dire 1 : numéro, 24 h : temps de sédimentation et 4l volume du récipient utilisé), Sam2/24h/4l , Sam3/24h/4l , Sam4/3h/3l , Sam5/3h/3l , Sam6/3h/3l, Sam7/6h/3l, Sam8/6h/3l, Sam9/6h/3l , Sam10/18h/1l , Sam11/18h/1l , Sam12/18h/1l

### **VI.3-ESSAI DE CONCENTRATION PAR ACCELERATION DIFFERENTIELLE POUR LES FINES DE DEPOUSSIÉRAGE**

Dans ce type de séparation généralement on utilise les appareils appelés jigs ou bacs à piston (Figure.40), le mot Jig en anglais son équivalent en langue française est gigue (danse « sautillante »).

Les produits sont soumis à une pulsation verticale périodique au cours de leur écoulement dans un bac. La pulsation est engendrée par le mouvement de l'eau. La séparation est réalisée dans un lit de particules fluidisées par le courant ascendant et descendant d'eau, provoquant ainsi une stratification selon la masse volumique des grains (revue technique de l'ingénieur).

Pour les essais des fines de l'atelier de dé poussiérage réalisées au niveau du laboratoire d'enrichissement des minerais de l'université de Badji Mokhtar de Annaba au moyen du jig existant sont au nombre de trois (03), le poids de chaque échantillon est de 300 g, 500 g et de 800 g les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 22 ci-dessous.

Tableau.21-Analyse des différents échantillons d'eau en fonction du temps de sédimentation.

Echantillons	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
pH	7.3	7.06	7.33	7.83	7.24	8.19	7.52	7.41	7.18	7.32	7.44	7.34
TA (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
TAC (mg/l)	85	80	78	95	86	101	82	88	81	79	80	77
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	106	110	115	116	110	115	116	109	115	115	105	120
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	6.96	6.97	6.98	6.99	6.96	6.98	6.96	6.95	6.96	6.96	6.94	6.98
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( mg/l)	1005	1026	1009	995	1100	889	1001	1028	1025	1005	1031	1010
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l)	<3pm	<3pm	<3pm	<3pm								
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	328	365	328	285	320	201	296	321	370	325	322	333
Na <sup>+</sup> (mg/l)	91.4	90.5	92.5	95.4	93.6	94.4	95.5	94.5	94.5	93.5	94.7	94.7
K <sup>+</sup> (mg/l)	0.81	0.82	0.80	0.83	0.81	0.85	0.84	0.81	0.80	0.80	0.82	0.83
Cd <sup>+++</sup> (mg/l)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.025	0.03	0.03	0.03
Pb (ppm)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Zn (ppm)	2	1.5	2.01	1.55	2.01	2.20	1.5	1.4	1.23	1.25	1.25	1.22
As (ppm)	0.10	0.09	0.1	0.25	0.10	0.57	0.31	0.29	0.15	0.10	0.12	0.21
RS (mg/l)	3500	3200	3300	3300	3200	3000	3400	3100	3400	3300	3300	3200



Figure.40-Séparation des fines de dépoussiérage par le bac a piston Laboratoire de l'université Badji Mokhtar d'Annaba

Tableau.22- Analyse granulométrique des Echantillons 300g, 500g et 800g (jiggage)

Classe en mm	Echantillon 300 g		Echantillon 500 g		Echantillon 800 g	
	Souverse Jig %	Surverse Jig %	Souverse Jig %	Surverse Jig %	Souverse Jig %	Surverse Jig %
0.630	0.92	/	0.946	/	0.900	/
0.500	0.150	/	0.190	/	0.180	/
0.400	0.215	/	0.236	/	0.210	/
0.315	0.215	/	0.236	/	0.210	/
0.250	0.215	/	0.236	/	0.210	/
0.200	0.370	/	0.378	/	0.380	/
0.160	0.86	/	0.9	/	0.85	/
0.125	1.60	0.130	1.79	0.160	1.9	0.153
0.100	3.77	0.290	4.50	0.360	3.95	0.320
0.080	8.10	2.95	8.09	3.85	8.20	3.62
0.063	6.30	9.80	6.17	10.15	6.5	10.30
0.050	13.77	11.20	14.08	11.31	13.8	12
0.040	34.42	45.40	35.85	47.53	34.3	46.2
< 0.040	29.09	30.23	26.40	26.63	28.47	27.40
Total	100	100	100	100	100	100

Dans l'opération de jiggage, il y a toujours une perte soit sur le tamis soit à l'intérieur du Jig lui-même pour les trois échantillons utilisés la perte et la récupération gros et fines comme suit :

- Echantillons 300 g, le poids des gros récupéré est 126 g contre 153 g de fines soit 7 % du poids total comme perte.

- Echantillons 500 g, le poids des gros récupéré est 214 g contre 250 g de fines soit 7 % du poids total comme perte.

- Echantillons 800 g, le poids des gros récupéré est 344 g contre 400 g de fines soit 7 % du poids total comme perte.

- L'analyse granulométrique des trois échantillons utilisés pour les essais a montré qu'un partage très proche entre la souverse et la surverse en terme de poids.

- L'analyse chimique de la souverse et la surverse des trois échantillons utilisés dans les essais a donnée les résultats mentionnés dans le tableau.23 ci-dessous

Tableau.23- Analyse chimique des trois échantillons utilisés dans les essais de Jiggage

	Echantillon 300 g		Echantillon 500 g		Echantillon 800 g	
	Souverse	Surverse	Souverse	Surverse	Souverse	Surverse
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	24.80	22.00	24.50	21.90	24.35	20.95
CO <sub>2</sub>	12.40	14.19	12.70	15.20	12.85	14.15
MgO	4.80	6.26	5.51	6.89	4.95	6.93

## VI.4-CONCLUSION

A la fin des essais réalisés on peut conclure ce qui suit :

- Si le complexe choisit un endroit fermé telle que la zone 2 au niveau de la carrière de Djemidjema pour le stockage des boues de débouage et les fines de dépoussiérage transporter par l'eau à la place de l'évacuation à l'air libre dans l'oued de souafa la récupération de quantité importante d'eau est facilement réalisable ;

- Revoir le schéma d'évacuation des fines de l'atelier de dépoussiérage, car le rapport liquide solide calculé est trop élevé soit de l'ordre de 22 ce qui explique la grande perte de l'eau sans récupération;

- Le complexe doit continuer de réaliser des essais pour les schlamms et les fines de dépoussiérage pour que la solution choisie à la fin soit optimale ;

- La souverse des fines de dépoussiérage séparée au moyen de Jig durant la fabrication des deux produits marchand, phosphate 63-65 % TPL destiné pour la transformation et phosphate 66-68 % TPL peut être mélangé avec le phosphate 63-65 % TPL destiné pour l'épandage direct ce qui augmente le rendement poids de l'atelier de dépoussiérage.

### **Conclusion générale et recommandation :**

Arrivant a la fin de ce travail on peut conclure et recommander ce qui suit :

- Les réserves du gisement de Kef Essennoun sont très importantes ainsi la méthode d'exploitation utilisée permettent de réaliser n'importe quelle augmentation de la production ;
- La teneur des minerais alimentant les différents ateliers de traitement demeure très favorable pour la fabrication des différentes qualités commercialisable ;
- Le schéma actuel d'évacuation des schlamms ou des fines de dépoussiérage fait perdre des quantités importantes d'eau et l'entreprise doit procéder à la modification de ce schéma par la réalisation d'avantage des études sur les schlamms et fines pour atteindre un schéma optimale de récupération d'eau et valorisation des fines tout en respectant la réglementation en vigueur ;
- Les essais réalisés au moyen du bac à piston jig sont encourageant pour une éventuelle récupération d'au moins d'une partie des fines ce qui réalise une augmentation du rendement poids des ateliers de traitement ;
- L'entreprise doit revoir son schéma de transport des fines de dépoussiérage du fait que le schéma actuel fait perdre beaucoup d'eau ;
- L'entreprise doit revoir la zone de stockage des schlamms par l'utilisation de l'espace (vide) créer par l'exploitation au niveau de Djemidjema (zone 2) pour une meilleure récupération de l'eau après décantation naturelle;
- Essayer de réaliser des expériences en agriculture on utilisant les schlamms dans l'irrigation visant ainsi une éventuelle valorisation.

## BIBLIOGRAPHIES

- Aissaoui D.** (1984)- Les structures liées à l'accident sud – Atlasique entre Biskra et le Djebel Manndra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique. Thèse 3èmcycle, Strasbourg, 138p.
- Ackels D.,** Madonna J. - Placer mining in Alaska with IHC Jigs. Alaskan Prospectors and Miner's News. Fall Edition, 11 p. (1985).
- Anonyme** - Dictionnaire français de minéralurgie. Supplément n° 2-72, Minéralurgie à la Revue de l'Industrie Minérale d'août-sept. 1972.
- L.E.Apodaca - Applications of spiral concentrators in fine coal processing. Document Mineral Deposits Ltd. (1990).
- F.F. Aplan** - Gravity concentration. SME Mineral Processing Handbook, Section 4, 55p. N.L. Weiss Éditeur, SME of the AIMMPE, Inc., New York (1985).
- Arnold.BJ. Hervol J D. Leonard J W.** - Dry particle concentration in coal preparation. Ed. Leonard J.W. and Hardinge BC, SMME, p. 486-495 (1991).
- Académie des sciences** (1998) - apport n°42. Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestion, Editions Tec et Doc.
- Bagueley P J. Napier-Munn T J.** - Mathematical model of the dense drum. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. C : Mineral Process. Extr. Metall.), 105 , p. C1-C8 (1996).
- Balderson G F.** - Recent developments and applications of spiral concentrators. The Aus. I.M.M. North-West Queensland Branch Mill Operators' Conference, p. 57-73, sept. 1982.
- Beck A J G. - Holtham P N** - Computer simulation of particle stratification in a two-dimensional batch jig. Min. Eng., 6 (5), p. 523-536 (1993).
- Belardi G. Sheau N. Marabini A. Veglio F.** - Surface response method in the optimization study of a multi-gravity separator : concentration of chromite fine. Proceedings of the XIX IMPC, Littleton, chapt. 29, p. 153-157 (1995).
- Beniuk V G. Vadeikis C A.** - Enraght-Moony J N - Centrifugal jigging of gravity concentrate and tailing at Renison Limited. Minerals Engineering, vol. 7, n° 5/6, p. 577-589 (1994).
- Berats E. et Fur M .** (1982) : Etude des possibilités d'ouverture de l'exploitation de la zone IV de Djemi - Djema. Rapport interne Complexe minier du Djebel Onk
- Blazy P. Jdid E A.** - Classification pneumatique. Techniques de l'Ingénieur.

- Blazy P. Francart J P.** Psychogios G. Samama J C. - Contribution to the establishment of a model for concentration procedures based on sluicing. *Journal of Mining and Metallurgy (Section A : Mining)*, vol. 37, number 1-2 (2002).
- Blazy P. Francart J P.** Psychogios G. Samama J C. - Optimisation of sluicing parameters. *Journal of Mining and Metallurgy (Section A : Mining)*, (under press).
- Brgm (sofremine).** (1993) -Rapport de l'expertise sur les travaux de prospection et d'évaluation des réserves du district minier de Djebel Onk
- Bonilla A, Ortega Rojas A** - El beneficio de finos minerales. I. Concentracion de minerales por tecnicas gravimetricas. *Quimica e industria*, 34 , 10, p. 961-965 (1988).
- Burollet P F. et Oudin J L.** (1980 : Paléocène et Eocène en Tunisie – pétrole et phosphate – in *Géologie comparée des gisements de phosphate et de pétrole*, Mém. BRGM n° 116.
- Burt R O.** - Gravity concentration technology - *Developments in Mineral Processing*, 5 , Elsevier (1984).
- Burt R O.** - Selection of gravity concentration equipment. *Des. and install. of conc. and dewatering circuits. Soc. of Min. Eng. of AIME (USA)*, p. 194-207 (1986).
- Burt R O.**- Gravity concentration methods. *Mineral Processing Design*, p. 106-137. B. Yasar et Z.M. Dogan éditeurs, NATO ASI Series, n° E 122 (1987).
- Burt R O.** - A review of gravity concentration techniques for processing fines. *Production and Processing of Fines Particules*, p. 375-385, Plumpton Ed., CIMM Pergamon Press (1988).
- Burton M. Ferrara G. Marchiavelli G. Porter M M . Ruff H J.** - The economic impact of modern dense medium systems. *International Symposium on Gravity Separation Technology, Minerals Engineering*, 4 , n° 3-4, p. 225-243, Pergamon Press (1991).
- BRGM** (1993)- Etude de développement du gisement de phosphate de djebel onk (Algérie) – diagnostic des usines actuelles et propositions d'amélioration
- Chabou Mostefai S.** (1987): Etude de la série stratigraphique tertiaire du Djebel Onk(Algérie),leur situation dans le cadre des phosphates algériens.DEAFac.Sci.Alger,136p
- Carpentier H.** - La filière « chrome » : évolution ou révolution ? *Industrie minérale - Mines et Carrières*. vol. 67, p. 161-167, mars 1985.
- Cayeux L.** (1939 – 41 – 50) - Les phosphates de chaux sédimentaires de France (France métropolitaine et d'Outre – mer). *Etude des gîtes minéraux de la France*. Imprimerie Nationale. Paris, trois tomes ; tome 2 : Algérie – Tunisie.
- Cayeux L.**(1939). Les boulets calcaires de la formation phosphatée du bassin de Gafsa (Tunisie) et les enseignements qui découlent de leur étude. *C. R.Acad. Sci. Paris*, t. I, p. 1951.

- Chan B S. Mozley R H. Childs G J C.** - The Multi-Gravity Separator (MGS) - A mine scale machine. Symp. Min. Proc. in the UK IMM. Leeds (1989).
- Chan B S . Mozley R H. Childs G J C.** - Extended trials with the high tonnage Multi-Gravity Separator. International Symposium on Gravity Separation Technology, Minerals Engineering, 4 , n° 3-4, p. 489-496, Pergamon Press (1991).
- Chedgy D G.** - High Capacity heavy media processing. Proceedings of the 13th International Coal Preparation Conference « Coal Prep 96 », Lexington (KY), p. 71-86 (1996).
- Clarkson R** - The use of nuclear to evaluate the gold recovery efficiency of sluice boxes. CIM Bulletin, p. 29-37, avr. 1994.
- Concha F. Almendra E R .** - Settling velocities of particulate systems of individual spherical particles. Int. J. Mineral Process, 5 , p. 349 (1979).
- Complexe minier djebel- onk Somiphos** – Plan d’exploitation exercice 2009
- Dass Amieur M .** (2006) - Evaluation de la quantité du produit marchand à l’aide de méthodes géostatistiques dans les blocs d’exploitation du gisement de phosphate de Kef Essenoun (Algérie Orientale). Thèse de magistère. Université Badj – Mokhtar. Annaba.110 p.
- De Jong T P R . Witteveen H J . Dalming W L.** - Penetration velocities in a homogeneous jig bed. Int. J. Miner. Process., 46 , p. 277-291 (1996).
- Di Felice R.** - The voidage function for fluid-particle interaction systems. Int. J. Multiphase Flow, 20 , p. 153 (1994)
- Duchatelle G.** (1975) - Minerai de phosphate de Djebel Onk, carrière de Djemi – Djema. Etude mineralogique. Rapp. Interne CERPHOS, 55p.
- Dussert M D.** (1924). les gisements Algériens de phosphate de chaux, Annales des mines, Dunod éd., Paris (12), 6, 290p.
- Edward D M . Davis J.J.** - Spiral research : technique development and use. In Davis J.J. (ed.), Proceedings of the VI Coal Preparation Conference, Paper B2, p. 116 (1993).
- EREM.** (1985 – 1987) - Travaux de prospection et d’évaluation des phosphates dans de Bir El Ater. Rapport EREM, 2 tomes : géologie, 50p. , prospection d’évaluation, Biblio, 53p.
- Faucoult A . et Raoult J F.** (1995) - Dictionnaire de Géologie. Edition Masson, 324p.
- Ferrara G. Bevilacqua P.** - Relationship between apparent and actual partition curves of gravity separation processes. Processings of the XIX IMPC, chapter 25, p. 131-137 (1994).
- Fisher A Gv. Jerome D.** (1973): Geochimistryof minerals containing phosphorus, in environmental Phosphorus Handbook, 141 p – John Wiley and Sons. New York,London, Sydney , Toronto

- Forsberg E. Nordquist T.** - Pilot plant trials of new gravity concentration equipment. Minerals and Metallurgical processing, p. 87-89, mai 1987.
- Fourine D.** (1980) : Phosphates et pétrole en Tunisie – In Géologie comparée des gisements de Phosphate et de pétrole, Mém. BRGM n°4, pp 30 – 34.
- Goodman R H. Brown C A. Ritchie I C.** - Advanced gravity concentrators for improving metallurgical performance. Minerals and Metallurgical Processing, vol. 2, n° 2, p. 79-86 (1985).
- Gochin R J. Smith M R.** - Dense medium separation. Mining Magazine, 149 , n° 6, p. 453-467 (1983).
- Hand P. Gallagher K.** - Coal preparation in the optimisation of Middleburg Mine Services. Proceedings of the 13th International Coal Preparation Conference « Coal Prep 96 », Lexington (KY), p. 47-57 (1996).
- Hesford I V. Wellings D E A .** - Spiral and cone concentrators. Mine and Quarry, 17 , n° 12, p. 37-41 (1988).
- Hewitt B.** - Gravity concentration at Campbell Mine. Randol Gold Forum' 96 (1996).
- Holland-Batt A B** - Spiral separation : theory and simulation. Trans IMM (sect. C : Mineral Process. Extr. Metall.), 98 , p. C46-C60, janv.-avr. 1989.
- Holland-Batt AB** - Interpretation of spiral and sluice tests. Trans IMM (sect. C : Mineral Process. Extr. Metall.), 99 , p. C11-C20, janv.-avr. 1990.
- Holland-Batt A B** - Some design considerations for spiral separators.
- Holtham P N.** - The fluid flow pattern and particle motion on spiral separators. Minerals Engineering, 3 , p. 279-286 (1990).
- Honaker R Q.** - Hindered-bed classifiers. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Coal Preparation Conference « Coal Prep 96 », Lexington (KY), p. 59-69 (1996).
- Houot R. Joussemet R.** - Compte-rendu de la mission d'expertise à la mine de chromite de Thiébagi. Rapport CRVM 38 p. (1986).
- Houot R . joussemet R. Beau J. Zapico J M. - L'usine de concentration du tungstène et étain de Santa-Comba (Galice-Espagne) : évolution de 1979 à 1985. Industrie Minérale - Mines et carrières - Les Techniques - 10-87, p. 418-422 (1987).
- Ignjatovic R.** - Procédé de concentration gravimétrique des classes fines des minerais dans un appareil statique à deux étages avec deux spirales. Industrie minérale – Les Techniques, 68 , 9-86, p. 433-436, nov. 1986.

- Ineris** (2005a) -Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Cadmium et ces dérivés, 25 p. (<http://rsde.ineris.fr/>).
- Ineris** (2005c) -Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : plomb,57 p. (<http://rsde.ineris.fr/>).
- Jancar T. Fletcher C A J. Holtham P N. Reizes J A.** - Computational and experimental investigation of spiral separators hydrodynamics. Proceedings of the XIX IMPC, chapt. 28, p. 147-151 (1995).
- Joleau L.** (1908) - Sur les faunes de l'Eocène inférieur et moyen du sud Algérien etTunisien.. bull.soc. géol. France, (4), 8, p. 295 – 297
- Kazakov A V.** (1930) - The phosphate facies: origin of the phosphorites and the geologic factors of formation the deposits. Proc. Sci. Inst. Fertilizers and insectofungicides, 145 p.
- Kelly E G. Subasnighe G K N S. Walshe D E. - The sluice box an evaluation. Minerals Engineering, 6 , p. 1397-1426 (1995)
- Ketouch S.** (1970) - Le gisement de phosphate de chaux sédimentaire du Djebel Onk Rapport n°5.
- Klein B. Partridge S J . Laskowski J S.** - Influence of physicomechanical properties on the rheology and stability of magnetite dense media. Production and Processing of Fine Particles, Plumpton (éd.), Canadian Institute of Mining and Metallurgy, p. 397-407 (1988).
- Laffitte R.** (1939) - Etude géologique des Aurès. Thèse de doctorat. Bull. serv. Carte géol Algérie, 2e série, n° 15, 484 p.
- Lupa Z. Laskowski J.** - Dry gravity concentration in fluidizing separators. Laskowski (Ed.) 13th Inter. Miner. Proc. Cong., Warsaw, 1979, Elsevier, 1195-1215 (1981).
- Macnamara L. Addison F. Miles N J. Bethell P. Davis P.** - The application of new configuration of coal spirals. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Coal Preparation Conference « Coal Prep 95 », Lexington (KY), p. 119-143 (1995).
- Mezghache H. Toubal A. Bouima T. et Bouarroudj M T.** (2000) - Localisation des différents types de minerai à l'aide de méthodes statistiques multivariées dans le gisement de phosphate de Kef Essennon – Djebel Onk – Algérie. 5th international conference on the geology of the Arab world. Cairo University, Egypte.
- Mezghache H.** (1991) - Détermination, localisation et estimation globale des différents types de minerais de phosphate dans le gisement de Kef Es – Snnoun, Djebel Onk, Algérie. Rapport E.N.FERPHOS, 42p.

**Mezghache H. et Hani A.** (2002) -Typologie chimique des phosphates du gisement de Djemi-Djema, bassin de Djebel Onk (Algérie orientale). Géologie Méditerranéenne. Tome XXVII n° 1/2, 2000, pp 95-106.

**Miller D J.** - Design and operating experience with the Goldsworthy Mining Limited Batac Jig and spiral separator iron ore beneficiation plant. International Symposium on Gravity Separation Technology, Minerals Engineering, 4 , n° 3-4, p. 411-435, Pergamon Press (1991).

**Mishra B K. Mehrotra S P.** - A jig model based on the discrete element method and its experimental validation. Int. J. Miner. Process., 63 , p. 177-189 (2001).

Napier-Munn T J - Modelling and simulating dense medium separation processes - A progress report. International Symposium on Gravity Separation Technology, Minerals Engineering, 4 , n° 3-4, p. 329-346, Pergamon Press (1991).

**Nicoloni P.** (1990) - Gîtologie et exploration minière. Edition Tec&doc, Lavoisier.

**Ottley D J.** - Gravity concentration in modern mineral processing. Mineral processing at a crossroads, p. 317-338. B.A. Wills et R.W. Barley éditeurs, NATO ASI Series, n° E 117 (1986).

**Player G D.** - Operation and application of fine-particle gravity separation equipment. Trans. of IMM p. C245-C252 (1984).

**Poling G W.** - Recovery of fine gold in placer mining. Gold Mining, 87 , p. 345-359 (1987).

**Prian G P. Cortiel Ph.** (1993) - Etude de développement du gisement de phosphate de Djebel Onk (Algérie). Rapport d'expertise géologique, B.R.G.M. France, 288p

**Raguin E.** (1961) - Géologie des gites minéraux. Edition Masson et Cie.

Rao P D. Maneval D R. Walsh D E. Ravi Aluru. - Beneficiation of gold and scheelite using a compound water cyclone. XVth IMPC Cannes, p. 231-243 (1985)

**Ranchin G.** (1963, a) - Les phosphates de chaux sédimentaires de la région de djebel Onk (Algérie).S.E.R.E.M. Paris, 85p.

**Richards R G.** - The processing of alluvial gold deposits from sampling to commissioning. 4th International Gold Conference, Rio de Janeiro, 13 p., août 1988.

**Richards R G. Bangerter P J.** - Gravity concentration systems in gold ore processing. Aus. IMM, Perth and Kalgoorlie branches, Regional Conference on « Gold-Mining, Metallurgy and Geology », 12 p., oct. 1984.

**Richards R G. Farmer A D.** - The processing of silica sand for glassmaking feedstock - Australian practice. 6th « Industrial Minerals » International Congress, 21 p. (1988).

- Ruhmer W T.** - Handbook on the estimation of metallurgical process costs. Mintek Special Publication n° 9, 84 p. (1987).
- Rollin C. et Quiot F.** (2006) -.Eléments traces métalliques : Guide méthodologique, Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux sous terraines. INERIS, Rapport INERIS- DRC-06-66246/DESP-R01a, 119p. ([www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2712](http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2712)).
- Sassis S.** (1974) - La sédimentation phosphatée au Paléocène dans le Sud et le Centre Ouest de la Tunisie. Thèse Doctorat des sciences, Université Paris – Sud (Orsay).
- Sassi S.** (1980) - Contexte paléogéographique des dépôts phosphatés en Tunisie - in Géologie comparée des gisements de phosphate et de pétrole. Mém. BRGM, n°116.
- Salas A. Hinojosa O. Tejerina J. Medina E.** - Redesign of old-fashioned machines used in mineral gravity concentrations. Proceedings of the XX<sup>th</sup> IMPC, Aachen, p. 541-550 (1997).
- Sandvik K. Rein A.** - Gravity separation of bulk products in centrifugal field. Proceedings of the XX<sup>th</sup> IMPC, Aachen, vol. 2, p. 599-609, 21-26 sept. 1997.
- Shokhtin V N. Lopatin A G.** - Gravitatsionie metodi obogashenie. Ed. Nidra, Moscou, p. 238-241 (1993).
- Sivamohan R. et Forrsberg E.** - Principles of sluicing. International Journal of Mineral Processing, 15 , p. 157-171, Elsevier Science Publisher (1985).
- Sivamohan R. et Forrsberg E.** - Recovery of heavy minerals from slimes. International Journal of Mineral Processing, 15 , p. 297-314, Elsevier Science Publisher (1985).
- Smirnov V.** (1982) - Géologie des minéraux utiles. Traduit en français en 1988. Edition Mir Moscou, 623 p.
- Staff Bureau of mines** - Bureau of Mines Cost Estimating System Handbook - 2. Mineral Processing. US Bureau of Mines Information Circular IC 9143, 566 p. (1987).
- Stebbins S A.** - Cost estimation handbook for small placer mines. US Bureau of Mines Information Circular IC 9170, 94 p. (1987).
- Tregelles P.** - New centrifugal cleaner handles large coal. World Mining Equipment, vol. 11, n° 6, p. 30-33 (1987).
- Taggart A F.** - Gravity concentration, dans Handbook of mineral dressing (Manuel de minéralurgie) 1905 p. 7<sup>e</sup> éd. Wiley and Sons (1960).
- Verbaere A.** - Installation de relavage des terrils (séparation des schlamms par « Unisizer »). Industrie Minérale - Mines et Carrières - Les Techniques, p. 2-10, févr. 1987.

- Visse L.** (1952) - Genèse des gites phosphatés du Sud Est Algéro – tunisien. XIX Congrès géol. Intern. Alger, série 1, n°27, 60p.
- Vogt P. et Belhadj A.** (1963) - Rapport de fin de mission phosphate dans le Constantinois et la région de Boghari. Rap BRGM, Alger.
- Waldram J T. Capps P G.** - Concentration of fine grained heavy minerals using the Kelsey centrifugal Jig. A world source of Ilmenite, Rutile, Monazite and Zircon. Australian Inst. of Min. and Metal. Perth, oct. 1986.
- Wasmuth H D.** (Dr-Ing) - Shaking table with hydraulic drive - A new approach to a well-proven gravimetric separation unit. Document KHD Humbolt Wedag AG, Köln (1990).
- Wells A.** - Some experiences in the design and optimisation of fine gravity concentration circuits. International Symposium on Gravity Separation Technology, Minerals Engineering, 4 , n° 3-4, p. 383-398, Pergamon Press (1991).
- Wells A. Chan Patel** - Contemporary practices in gravity recovery installations in the Canadian Gold Mining Industry. International Symposium on Gravity Separation Technology, Minerals Engineering, 4 , n° 3-4, p. 399-409, Pergamon Press (1991).
- Wills B A.** - Gravity concentration. Mining Magazine, 151 , n° 4, p. 325-339 (1984).
- Zhenfu L. et Quingru Ch.** - Dry beneficiation technology of coal with an air dense-medium fluidized bed. Int. J. Miner. Process., 63 , p. 167-175 (2001).