

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



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

Mémoire de Master en Génie Minier

Calcination du Produit Marchand de Complexe de Djebel-Onk

Présenté par :

Mr. BEHLOULI Mohammed

Devant le jury :

Dr. OULD HAMOU. M	Président
Dr. AKKAL. A	Examineur
Dr. DERAMCHI. K	Promotrice

Promotion Juin 2014

Dédicace

*Je dédie ce travail à la lumière de mes jours, mes très chers
parents,*

A mes frères et sœurs, surtout ma petite sœur Loubna,

A mes oncles et mes tantes,

A toute la famille BEHLOULLI,

A toute la famille BELLI,

A toute la promotion 2014 de Génie Minier

A tous mes amis,

Et à tous ceux qui m'aiment...

.... Mohammed

Remerciement

Au terme de ce travail, je tiens à remercier Dieu avant tout ;

Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé à la réalisation de cette thèse et qui n'a été possible que grâce au soutien de nombreuses personnes, que chacune trouve dans les premières phrases de cette thèse l'expression de ma profonde et sincère reconnaissance.

*Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements à ma promotrice **Dr.K.DERAMCHJ**, pour son inspiration constante, ses orientations enrichissantes et son encadrement scientifique, ce qui a permis de donner plus de valeur à l'ensemble de ce travail.*

*Le président du jury : **Dr. M. OULD HAMOU** qui m'a fait l'honneur de présider mon jury de thèse, je lui remercie pour son aide pendant tout mon cursus d'ingénieur comme notre chef de département*

*L'examineur : **Dr. A. AKKAL** pour avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail. Et pour ses conseils et orientations pendant toute l'année.*

*J'adresse aussi mes remerciements à l'ensemble des enseignants au niveau de département **Génie Minier de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.***

*Les responsables de laboratoire de Génie Minier, **Mr. A. KAJI**. Et **Zami Mustafa** pour leur aide et patience durant tout le temps qu'on a passé avec eux dans laboratoire*

*L'ensemble des personnels du complexe minier de **Djebel-Onk**, administrateurs et travailleurs, ainsi que tous les personnels du laboratoire.*

Mes remerciements sont adressés aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin et dont leurs noms ne figurent pas sur cette liste.....

.....Mohammed

ملخص

المجمع المنجمي لجبل العنق يمثل واحد من اهم اقطاب الصناعة المنجمية الجزائرية. ويعتبر المصدر الاساسي للفوسفات في الجزائر. هذا المجمع يصنع منتوجات تجارية ذات نوعيات 63-65 و 66-68. هذه المنتوجات تعالج بطريقة جافة او رطبة على التوالي.

هذا العمل سيحمل دراسة تجريبية بواسطة حرق المنتج التجاري لجبل العنق من اجل اغناؤه

من جهة اخرى سنقوم بدراسة مقارنة بين عمليتي حرق الفوسفات الخام و حرق المنتج التجاري من اجل اختيار طريقة المعالجة المثالية

الكلمات المفتاحية

63-65 TPL, 66-68 TPL, معالجة فوسفات. جبل العنق. منتج تجاري. حرق. مقارنة

Résumé :

Le complexe minier de Djebel-Onk constitue l'un des plus importants pôles d'industrie minière algérienne, il se considère comme la source principale des phosphates algériens, ce complexe permet de fournir des produits marchands dont les qualités sont 63-65 TPL et 66-68 TPL, ces produits sont traités par voie sèche et humide respectivement.

Ce présent travail portera des études expérimentales sur la calcination des produits marchands de Djebel-Onk pour l'objet d'enrichir ces qualités marchandes.

Dans une autre partie, on fera une étude comparative entre la calcination du toutvenant et la calcination du produit marchand, afin de choisir la meilleure méthode d'enrichissement.

Mots clés :

Traitement, phosphate, Djebel-Onk, produit marchand, 63-65 TPL, 66-68 TPL, calcination, comparaison.

Abstract

The mining complex of Djebel-Onk constitutes one of the biggest of the Algerian mining industry, it is the main source of Algerian phosphates, this complex supplies the market with products ranging from 63-65 TPL to 66-68TPL in quality, these products are fabricated by dry way or wet way .

This project contains experimental studies carried out on the calcination of the products produced at Djebel-Onk with the goal of improving the quality of the products.

In another part of this project, we will carry out a comparative study between the calcination of natural ore and the calcination of the final products, so as to choose the best method of mineral processing.

Key words:

Mineral processing, phosphate, Djebel-Onk, final product, 63-65 TPL, 66-68 TPL, calcination, comparison.

SOMMAIRE:

Introduction générale.....1

Partie bibliographique:

Chapitre I :

I.1- Introduction : 2

I.2- Origine de phosphate :..... 2

I.3- Utilisation des phosphates : 3

I.4- Le phosphate dans le monde : 3

I.5- Le Phosphate en Algérie : 4

I.6- Le gisement du phosphate de Djebel-Onk : 5

I.6.1- Organigramme du complexe Djebel Onk : 5

I.6.2- Situation géographique de Djebel Onk:..... 6

I.6.3- Géologie du gisement: 6

I.6.4- Les réserves géologiques:.....7

I.6.5- L'exploitation du gisement de Djebel-Onk : 7

I.7- Conclusion:.....7

Chapitre II:

II.1- Description de la chaîne de traitement du phosphate de Djebel-Onk : 8

II.2- Préparation mécanique : 8

II.2.1- Concassage : 8

II.2.2- Broyage : 8

II.2.3- Criblage : 8

II.3- Traitement par voie humide : 10

II.4- Traitement par voie sèche (Dépoussiérage) : 12

II.5- Conclusion : 13

Partie expérimentale:

Chapitre III:

III.1- Introduction :	14
III.2- Calcination des produits marchands de phosphate de Djebel-Onk :	14
III.2.1- Matériel utilisé pour les essais de calcination:	14
III.2.2- Mode opératoire :	15
III.2.3- Influence de la température sur les produits marchands :	16
III.2.4- Influence de temps de calcination sur le produit marchand :	19
III.3- Comparaison entre la calcination du toutvenant et la calcination du produit marchand du complexe de Djebel-Onk :	22
III.3.1- Interprétation :	24
III.4- Conclusion :	25
Conclusion générale	26

Annexes

Bibliographie

Liste des Tableaux :

Tableau 3-1 : résultats de la calcination des produits marchands.....	16
Tableau 3-2 : Les valeurs de perte et de densité en fonction de temps.....	19
Tableau 3-3 : Résultats des pertes et de densité des différents produits calcinés....	23

Liste des Figures :

Chapitre I

Figure I-1 : Localisation des Gisements de phosphates dans le monde.....	4
---	---

Chapitre II

Figure II-2 : Schéma de préparation mécanique au niveau de l'unité de traitement du complexe de Djebel-Onk.....	9
Figure II-3 : Schéma de débouillage (traitement par voie humide).....	11

Chapitre III

Figure III.1 : Matériel utilisé lors de la calcination.....	15
Figure III-2 : La perte en poids en fonction de la température.....	17
Figure III-3 : la densité des produits A et B en fonction de température.....	18
Figure III-4 : la perte à la masse en fonction de temps.....	20
Figure III-5 : Histogramme de la densité en fonction de temps.....	20
Figure III-6 : La perte en poids des différents échantillons calcinés.....	23
Figure III-7 : Histogramme de la densité des échantillons.....	24

Introduction Générale :

Le complexe minier de Djebel-Onk constitue l'un des plus importants pôles d'industrie minière algérienne, il se considère comme la source principale des phosphates algériens, ce complexe permet de saturer les besoins du marché national et de participer dans le marché international avec des produits marchands de deux qualités qui sont classées en fonction des teneurs en TPL, les types de produit marchands fabriqués au niveau du complexe minier de Djebel-Onk sont résumés comme suit :

❖ **Qualité 63-65% TPL :**

Ce type des produits marchands est obtenu après une série de traitement par voies sèche, dans les ateliers de dépolvage (DK2, DK3), ce type de traitement physico-chimique est basé sur la décarbonatation par impacte et aménagement granulométrique. Le minerai dans l'atelier de dépolvage passe par cinq opérations, afin d'obtenir un produit marchand titrant 63-65% en TPL.

❖ **Qualité 66-68% TPL :**

Cette qualité de phosphate est le résultat d'un traitement humide de minerai brut provenant de la carrière, ce traitement se fait par débouillage, ce dernier est une procédé qui permet d'éliminer les argiles, les silicates, les matières organiques ainsi que les sels, elle est composée des opérations suivantes : une mise en pulpe, criblage humide (grilles courbes), classification, hydro cyclonage et une filtration. Le produit sera par la suite séché afin d'obtenir un produit marchand avec une humidité de 1%.

Notre travail se constitue de deux parties différentes qui vont être structurées de la manière suivante :

- **Partie bibliographique (générale) :** comporte deux chapitres tel que :
Chapitre I : Le phosphate dans le monde - présentation du complexe Djebel-Onk.
Chapitre II : Traitement des phosphates de Djebel-Onk.
- **Partie expérimentale (spéciale) :**
Chapitre III : Calcination des produits marchands du complexe de Djebel-Onk.
Dans cette partie, on fera des essais de calcination pour le but d'augmenter la densité (teneur en TPL) des produits marchands.

Le but principal de cette étude est d'améliorer les teneurs en TPL des produits marchands du complexe de Djebel-Onk, et dans une autre partie on fait une comparaison entre la calcination du toutvenant et la calcination du produit marchand.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I :
Le Phosphate dans le Monde –
Présentation du Complexe de Djebel-
Onk

I.1- Introduction :

Le phosphate est un oligo-élément naturellement présent dans la nature et indispensable à la vie. Cette molécule est un élément essentielle à la prolifération de la vie végétale et animale sur terre il fait partie d'un cycle sans fin. En effet ce cycle du phosphate est un des nombreux cycles qui se répète indéfiniment comme il y en a beaucoup dans la nature. Le phosphate est au départ présent sous forme de roche (ou sédiment), ce phosphate est alors utilisé par les végétaux qui composent la flore, puis ces végétaux retourne à l'état de poussière comme toutes vie (il peut être aussi consommé par une vie animale, elle aussi subissant le même sort que les plantes). Le cycle phosphatique est une boucle qui tourne à l'infini c'est un circuit fermé.

L'assemblage des minéraux naturels contenant une concentration élevée de minéraux phosphatés est décrit par le terme «Phosphate naturel». Ce terme se rapporte aussi bien aux minerais phosphatés non enrichis qu'aux produits concentrés. Ces minéraux se trouvant dans des formations d'un âge géologique très différent (ex : cambrien, permien, crétacé supérieur, éocène) (1), montrent une gamme très large de compositions chimiques et de formes physiques qui se trouvent, souvent, en couches épaisses relativement horizontales ; ils peuvent être à la base de terrains de recouvrement peu profonds, représentant 80 à 90 % de la production mondiale des gisements sédimentaires. Certains contiennent de la fluoroapatite carbonatée, le reste vient à partir des gisements ignés (2).

I.2- Origine de phosphate :

La roche de phosphate peut être de deux origines différents: sédimentaire ou volcanique, tous les deux associés avec un grand nombre d'impuretés.

Les minerais sédimentaires ont des couches relativement homogènes bien que chacune d'elles a ces propres caractéristiques. Le taux d'impuretés dans les phosphates sédimentaires dépend des conditions spécifiques locales, qui sont comme même très similaires. Comparer aux phosphates d'origine volcanique, les phosphates sédimentaires contenant plus de carbonates, de fluorures et souvent plus d'aluminium et de fer. Etant poreux, les phosphates sédimentaires offrent une plus grande aire pour les réactions chimiques. La majorité des minerais sédimentaires contiennent des matières organiques qui peuvent générer des mousses durant la production de l'acide (3).

D'autre part, les phosphates d'origine volcanique diffèrent non seulement entre eux, mais aussi ils peuvent être différents dans la même mine.

D'autres types de phosphates de moindre importance, existent aussi tels que les phosphates métamorphiques qui sont une forme intermédiaire de phosphate et sont plus complexes. Ce sont généralement des roches sédimentaires qui ont subi des altérations dues à la température et la pression, donnant lieu à une recristallisation. A cause de leur origine sédimentaire, ils contiennent les mêmes impuretés que les phosphates sédimentaires.

Les phosphates calcinés sont aussi une autre forme de phosphate, souvent de nature sédimentaires et ayant subi un métamorphisme artificiel par chauffage, éliminant ainsi certains composés indésirables tels que le dioxyde de carbone et d'autres organiques. La calcination affecte la réactivité du phosphate et fait promouvoir la formation de sulfures qui peuvent engendrer une corrosion assez importante dans la section de réaction.

I.3- Utilisation des phosphates :

Les engrais, les détergents, l'alimentation animale, le traitement des métaux, et dans la chimie organique, les plastifiants, les insecticides et les additifs pour essences et huiles lubrifiantes. Constitue l'essentiel des débouchés du phosphate.

L'industrie des engrais consomme la grande partie de la production mondiale de phosphate naturel. L'acide sulfurique et le phosphate naturel sont les matières premières utilisées dans la production du superphosphate simple (SSP) et de l'acide phosphorique. L'acide phosphorique est un produit intermédiaire important employé pour préparer le superphosphate triple (TSP) et les phosphates d'ammonium. Les formulations complexes fortement concentrées forment maintenant la principale production de l'industrie mondiale des engrais (4), (5)

I.4- Le phosphate dans le monde :

Les gisements sédimentaires ont fourni environ 80 à 90 pour cent de la production mondiale de PN, Ils se trouvent dans des formations d'âge géologique très différent, montrent une gamme très large de compositions chimiques et de formes physiques, se trouvent souvent en couches épaisses relativement horizontales, et peuvent être à la base de terrains de recouvrement peu profonds. Les gisements qui représentent la majeure partie de la production mondiale de PN sont au Maroc, aux Etats-Unis, en chine et dans d'autres pays africains. La plupart des gisements sédimentaires contiennent de la fluoroapatite carbonatée appelée francolite. Les francolites ayant une importante substitution carbonate sur phosphate, ce sont les plus fortement réactives et les plus appropriées pour l'application directe comme engrais ou amendement.

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

La figure ci-dessous représente la localisation des différents gisements de phosphate (sédimentaires et ignés).

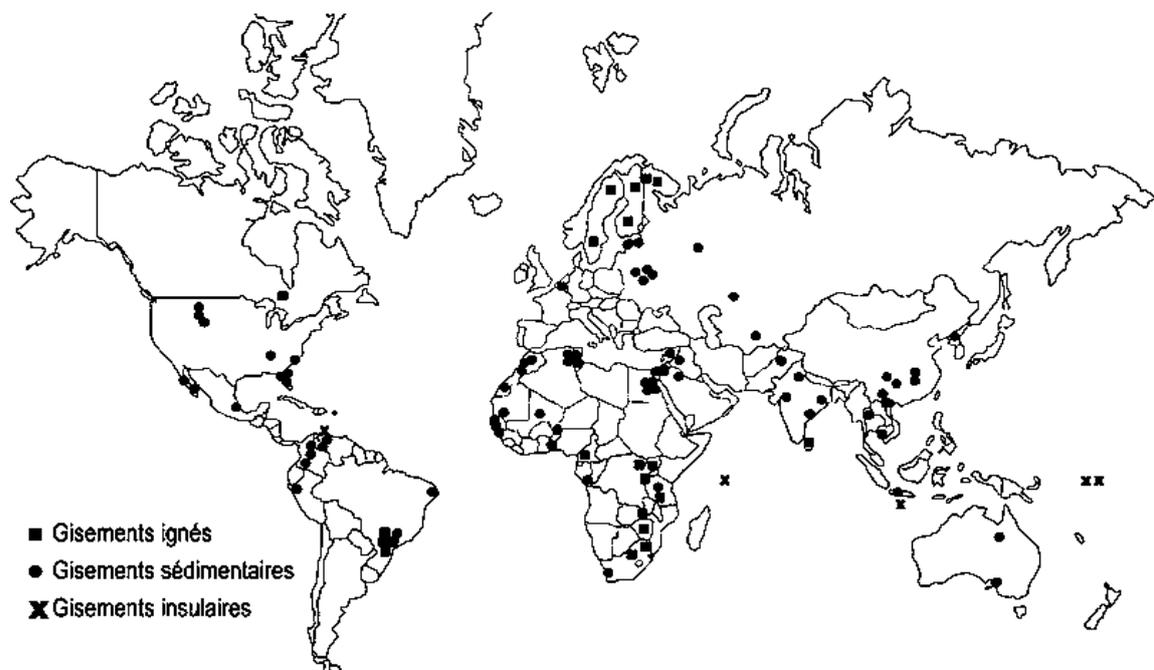


Figure I-1 : Localisation des Gisements de phosphates dans le monde

I.5- Le Phosphate en Algérie :

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

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

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

Les principaux gisements de phosphate sont :

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

I.6- Le gisement du phosphate de Djebel-Onk :

I.6.1- Organigramme du complexe Djebel Onk :

Le complexe de Djebel Onk est la principale unité stratégique business de FERPHOS pour la production du phosphate. Composé de deux mines à ciel ouvert et une usine de traitement de phosphate.

Afin de gérer tout le complexe, il existe toute une organisation dont chaque partie s'occupe d'une tâche bien précise. Les différents départements qui existent sont :

Exploitation : c'est le département qui s'occupe des travaux d'abattage, chargement et transport.

Traitement : c'est le département qui s'occupe de l'enrichissement du tout-venant arrivant de la carrière.

Maintenance : c'est le département qui s'occupe de la maintenance de toutes les machines dans l'usine.

Etudes & développement : c'est le département qui s'occupe des projets de recherches ainsi que la préparation des plans d'exploitation, il contient un service géologue, un service topographe et un service exploitation.

Sécurité : qui assure le bon déroulement des travaux et la sécurité du personnel.

I.6.2- Situation géographique de Djebel Onk:

La région de Djebel Onk est située au Sud – Est de l’Algérie, à 100 km de la Wilaya de Tébessa et à 20 km de la frontière Algéro – Tunisienne, sur la route qui relie Tébessa à El Oued. Cette région constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien. Le massif de Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 km de longueur qui culmine à 1198 m d’altitude au Djebel Tarfaya. Ce massif constitue l’extrémité orientale des monts de Nememcha qui prolonge vers l’Est de massif des Aurès. Les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d’environ 635m.

La région de Djebel Onk est subdivisée en 5 secteurs miniers :

- Gisement de Djemi-Djema,
- Gisement de Kef Essenoun,
- Gisement de Djebel Onk Nord,
- Gisement d’Oued Betita,
- Gisement de Bled El Hadba.

I.6.3- Géologie du gisement:

Le gisement est situé dans le prolongement de la retombée méridionale de la flexure antiforme du Djebel Onk, dont la structuration majeure est due à la tectonique post-Miocène.

Lithologiquement, le gisement de Kef-Essenoun est constitué de bas en haut, par la série calcaro-dolomitique à silex de l’Yprésien surmonté par les calcaires marneux du Lutétien, puis par les sables du Miocène, et les alluvions du Quaternaire.

La majeure partie du gisement est constituée par une couche unique de phosphate sombre, gris –noir, sans intercalation carbonatée stérile, vers le Nord-Est de gisement apparaît une couche de phosphate claire brun –beige oxydé sus-jacente à la couche de phosphate noir, la proportion des deux types de minerai est de 75% pour la première et 25% pour la deuxième.

I.6.4- Les réserves géologiques :

Le gisement de Djebel Onk, par ces importantes réserves se classe parmi les grands gisements dans le monde.

Avec plus de 2 milliards de tonnes de réserves de phosphate l'Algérie se trouve dans la troisième place après le Maroc et Sahara-Occidental (50 000 000 tonnes) et la Chine (3 700 000 tonnes), ce sont les pays qui possèdent les grandes réserves mondiales de phosphate

I.6.5- L'exploitation du gisement de Djebel-Onk : (6)

Après l'épuisement de la mine de Djema-Djema, les travaux d'exploitation est réorientés vers le gisement de kef-essenoun, ce dernier est la seule zone où se déroule les travaux d'abattage est de tir, elle présente la source unique de l'alimentation d'unité de traitement de phosphate.

kef-essenoun est une mine à ciel ouvert, constituée de plusieurs gradins formant une fosse. Le facteur de recouvrement est de un pour deux, c'est-à-dire que pour chaque gradin de minerai abattu, il faut abattre deux gradins de stériles. Pour cela, on trouve les gradins de stériles dans la périphérie et les gradins de minerais dans le centre de la fosse.

I.7- Conclusion :

Le gisement de Djebel-Onk est un grand gisement dont lequel il nécessite une exploitation considérable, l'Algérie vient de finaliser un nouveau programme d'investissement industriel pour l'optimisation de la production du phosphate qui permettra à l'Algérie d'arriver à un niveau de production de 30 millions de tonnes, aux horizons de 2020, par la mise en place prochaine de trois plateformes d'exploitation de phosphate, dans l'Est du pays.

CHAPITRE II :
Traitement du Phosphate de Djebel-
Onk

II.1- Description de la chaîne de traitement du phosphate de Djebel-Onk :

L'objet du traitement des phosphates est d'éliminer les composants nuisibles et la gangue, de façon à obtenir une teneur en P_2O_5 aussi élevée possible, de même qu'un rapport CaO / P_2O_5 favorable.

L'unité de traitement de phosphate de Djebel-Onk constitue de voies principales (voie sèche et humide) pour l'obtention du produit marchand pris à être commercialisé

La méthode de traitement adoptée au actuellement au niveau du complexe minier de Djebel-Onk commence par l'opération de préparation mécanique, qui alimente les deux voies de traitement.

II.2- Préparation mécanique :

La préparation mécanique a principalement pour but de réduire les dimensions des blocs de minerai extrait de la carrière afin de libérer les composants utiles de leur gangue. Il comporte les trois opérations suivantes : Concassage, broyage et criblage.

II.2.1- Concassage :

Cette opération a pour but de réduction des blocs du tout-venant alimentant l'usine de traitement d'une dimension de 1 m, jusqu'à une grosseur inférieure à 200 mm

Elle se fait au moyen des deux concasseurs :

- Concasseur à cône giratoire « BABITLESS » d'une capacité de 1000 T/h ;
- Concasseur à percussion « HAZEMAG » menu d'un système de scalpage d'une capacité de 1200 T/h.

II.2.2- Broyage :

Cette opération consiste à réduire le produit concassé jusqu'à une dimension de 20mm et ce au moyen de trois broyeurs à marteaux articulés « WEDAG » d'une capacité de production de 300 T/ h/ broyeur.

II.2.3- Criblage :

Cette dernière opération de la préparation mécanique consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieur à 15 mm au moyen de trois cribles vibrants à résonances « WEDAG » d'une capacité de 300 T/h/crible et deux cribles vibrants inclinés « HAZEMAG » d'une capacité de 600 T/ h/crible avec une ouverture de 10mm

Le passant du crible ayant une granulométrie inférieure à 15 mm alimente les deux voies pour l'obtention le produit marchand.

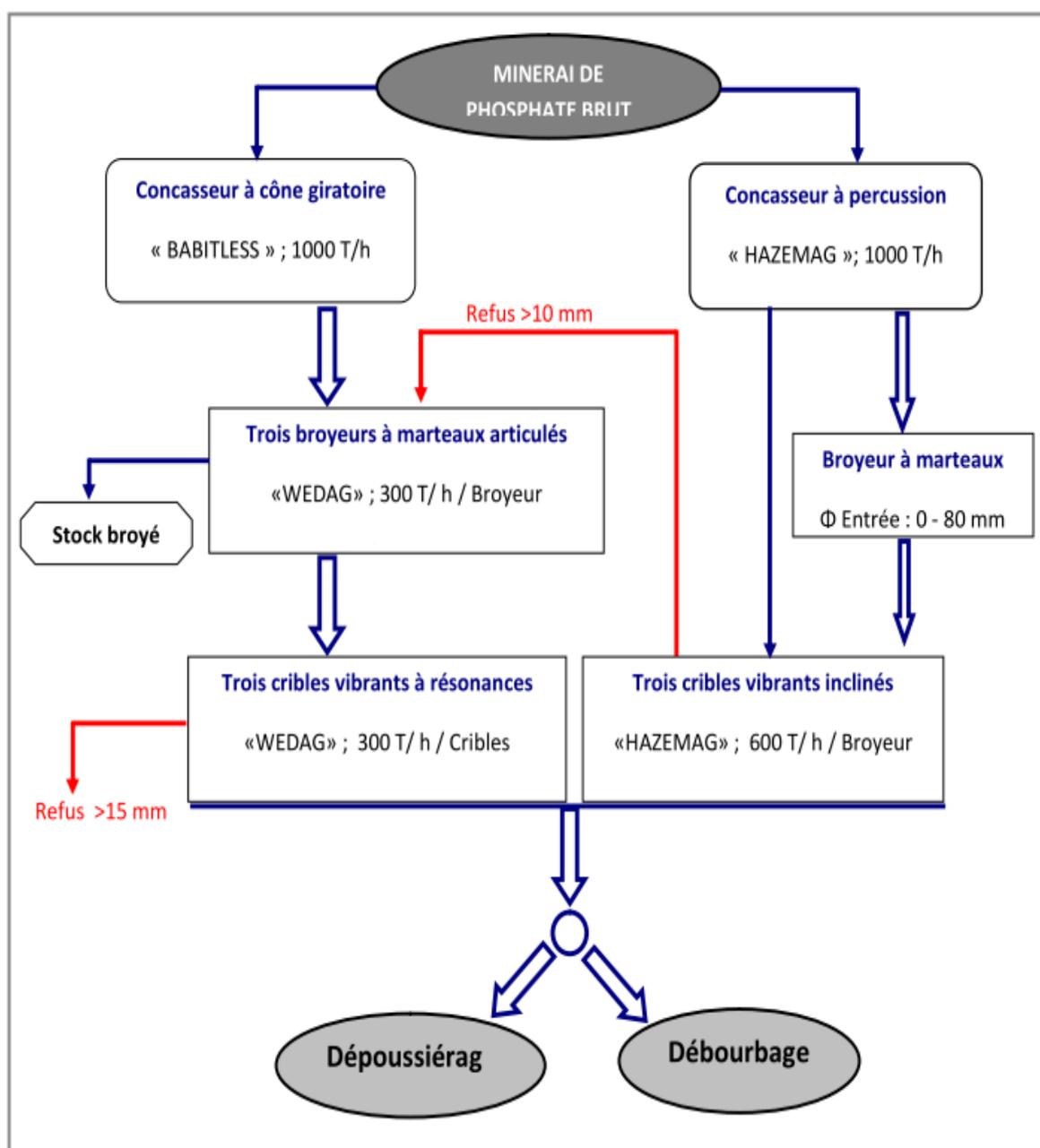


Figure II-2 : Schéma de préparation mécanique au niveau de l'unité de traitement du complexe de Djebel-Onk (6)

II.3- Traitement par voie humide :

Le but de cette opération est d'éliminer les argiles, les silicates, les matières organiques ainsi que les sels..... Il est constitué des opérations suivantes : une mise en pulpe, criblage humide (grilles courbes), classification, hydro cyclonage et une filtration.

Ce type de traitement comporte les opérations suivantes :

II.3.1- Débourbage :

Le but de cette opération pour d'éliminer les argiles, les silicates, les matières organiques ainsi que les sels..... Il est constitué des opérations suivantes : une mise en pulpe, criblage humide (grilles courbes), classification, hydro cyclonage et une filtration.

- Principe :

Le passant crible de dimensions inférieure à 15 mm est mise en pulpe avec de l'eau dans un rapport solide/liquide égale à 2/3 (T/m²), alimente les grilles courbes qui opèrent a une coupure de 1,25mm. Les hydrocyclones a mouvement hélicoïdal de rotation récupèrent le passant grilles courbes dont le but est d'élimine la tranche inférieur à 0.8mm. Les fines particules très pauvre en phosphate seront acheminées vers l'épaississeur et la qualité noble est essore aux moyennes essoreuses le produit débourbe et essore titrant de (66 à 68 %) TPL est expédié pour la deuxième opération.

II.3.2- Séchage :

Le produit débourbé étant un produit semi fini humide et qui nécessite une déshydratation jusqu'à l'obtention d'un produit marchand d'une humidité de 1%. Le séchage se fait au moyen deux méthodes à savoir :

- Séchage par four vertical (four de Calcination)
- Séchage par four horizontal.

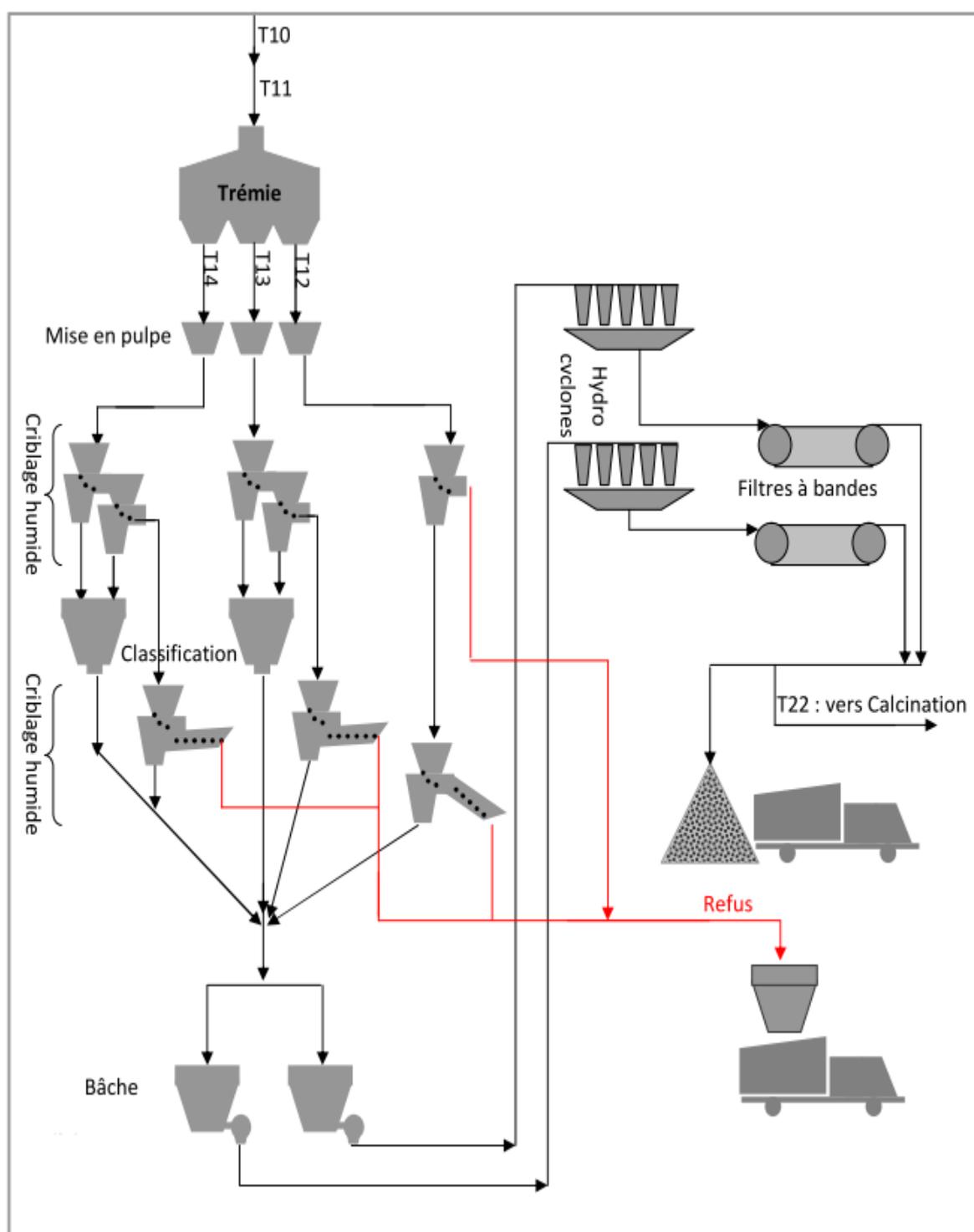


Figure II-3 : Schéma de débouage (traitement par voie humide) (7)

II.4- Traitement par voie sèche (Dépoussiérage) :

Cette opération s'effectue dans les ateliers de dépoussiérage (DK2 et DK3), est un procédé physico-mécanique d'enrichissement du minerai phosphate pour l'obtention d'un concentré moyen de 29 à 30 % P_2O_5 c'est un procédé issu d'une technologie de traitement à sec, basée essentiellement sur la décarbonation par impacte et aménagement granulométrique.

Le but principal de ce type de traitement est d'enrichir à sec un produit provenant de la carrière ayant 54 à 56 % de TPL, broyer et cribler à 15 mm contenant 3 à 7 % d'humidité pour ramener à la qualité commerciale titrant 63 à 65 % de TPL et des granulométries comprise entre 800 μm et 90 μm . Chaque ligne est d'une capacité de 230 T/h à l'alimentation et 137.5 T/h à la sortie d'un rendement poids de 60 à 62 %, pour pouvoir traiter et enrichir à sec le produit doit subir cinq opérations de préparation et d'enrichissement :

II.4.1- Séchage à lit fluidisé :

Cette opération élimine aussi une partie des solides les plus fines en les entraînant avec les gaz de fluidisation. Il consiste deux fours sécheurs, ils sont divisés en deux comportements :

- Combustion et dilution.
- Séchage par fluidisation.

II.4.2- Criblage à 2mm :

Cette opération consiste à éliminer le produit dont la dimension est supérieure à 2mm au moyen des cribles REVHUM équipés d'un tamis de 2 mm, permet le rejet des grosses particules (supérieure à 2mm) qui sont généralement des calcaires, tandis que les moins de 2 mm sont admis et acheminés vers les broyeurs (rendement poids 88%).

II.4.3- Broyage à attrition :

Pour libérer une partie de l'exogangue des grains de phosphate, et permettre un meilleur enrichissement final par séparation granulométrique et ce au moyen des broyeurs « Broyeur DRAGAN » équipés d'un rotor sur lequel portés des marteaux et chambre de broyeur.

II.4.4- Sélection par une turbo sélection ventilée :

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

II.4.5- Criblage à 0,8mm :

Le même principe que les cribles de 2 mm, d'où ils sont rejetés les grains de phosphate supérieur à 0.8 mm

II.4- Conclusion :

Le gisement de phosphate de Djebel-Onk est considéré parmi les plus importants gisements au monde, avec ces énormes réserves et sa teneur probablement important,

Le complexe minier de Djebel-Onk permet de produire des bonnes qualités de phosphate marchand passant par les différentes phases à partir du minerai brut provenant de la carrière jusqu'à l'obtention d'un produit final pris à être commercialisé.

La méthode d'enrichissement adoptée au niveau du complexe minier de Djebel-Onk qui est basée sur la granulométrie, donne de bons résultats du point de vue de la qualité du phosphate. Par contre, ses rejets présentent le gros inconvénient engendré par cette méthode à cause de perte d'un pourcentage trop élevée de matière phosphatée.

PARTIE EXPERIMENTALE :

CHAPITRE III :

Calcination du Produit Marchand du
Complexe de Djebel-Onk

III.1- Introduction :

La calcination est procédé de traitement thermique qui consiste à améliorer la teneur de phosphate par le dégagement des gaz volatils contenant dans le minerai tel que : CO₂ et H₂O, par l'élimination de reste des matières organiques et la destruction des carbonates (dolomite, calcite),

Dans cette partie expérimentale, on essaie à améliorer les densités (teneurs) des différents échantillons testés.

Pour cela nous avons ramené des échantillons représentatifs des toutvenants de phosphate beige et noir et des échantillons de deux qualités commercialisées du complexe de Djebel-Onk qui vont être l'objet des essais expérimentaux par la suite.

III.2- Calcination des produits marchands de phosphate de Djebel-Onk :

Donc le cadre de traitement thermique des produits marchands, des essais de calcination seront effectués sur les échantillons de deux qualités marchandes ramenés du complexe de Djebel-Onk, pour le but de déterminer la température et le temps optimal de calcination du produit marchand.

Les deux qualités de produit marchand du complexe de Djebel-Onk vont prendre la notation suivante pour le reste de chapitre :

Produit A : pour la qualité 63-65 % de TPL.

Produit B : pour la qualité 66-68% TPL.

III.2.1- Matériel utilisé pour les essais de calcination:

Pour permettre d'effectuer les essais de calcination sous des conditions favorables, nous avons trouvé dans notre disposition au niveau du laboratoire de génie minier l'ensemble du matériel nécessaire pour le bon déroulement des opérations de calcination, tel que :

- ❖ **Four de calcination de type Carbolite** : c'est un four très puissant permet d'élever et baisser la température rapidement, il peut atteindre une température de 1400°C au maximum. (Figure II-1).
- ❖ **Creusets en porcelaine** : sont des petits verres très résistants dont lesquels on les met les échantillons lors de la calcination.
- ❖ **Balance de précision de type KERN** : c'est une balance très sensible contenant quatre chiffres après la virgule, elle est destinée pour peser des poids légers (au maximum 120g). (Figure II-1)
- ❖ **Pince en acier** : c'est un moyen permet d'introduire les creusets contenant les échantillons à l'intérieur du four facilement.
- ❖ **Pycnomètre** : pour procéder la méthode de calcul de densité au pycnomètre, On a utilisé des pycnomètres de 50 ml.



Four de type Carbolite



Balance de type KERN

Figure III.1 : Matériel utilisé lors de la calcination.

III.2.2- Mode opératoire :

- On pèse 6 échantillons de 10g pour chaque produits A et B, avec la balance analytique de type KERN, et on les met dans des creusets en porcelaine résistants à des hautes températures.
- On introduit les creusets contenant le produit à l'intérieur de four, le temps est fixé à 15 minutes sous des températures allant de 500 jusqu'à 1000 °C.
- Les échantillons calcinés seront laisser refroidir pendant une heure, pour passer par la suite à la pesée et aux analyses densimétriques.
- Le calcul de densité s'effectuera à l'aide de la méthode au pycnomètre.

III.2.3- Influence de la température sur les produits marchands :

Après la soumission des produits A et B sous l'action de différentes températures de four, nous avons pris les valeurs de la perte du poids des échantillons pendant la calcination, et les différentes densités obtenues. Les résultats sont exprimés dans le tableau suivant :

T (°C)	500	600	700	800	900	1000
d0(A)	2.94					
$\Delta m(A)$ %	5.5	7.9	11.1	17.8	21.1	21.5
d1(A)	2.96	2.97	2.98	3	3.02	3.02
d0(B)	2.98					
$\Delta m(B)$ %	4.4	7	10.5	11.2	13.7	14
d1(B)	2.99	3	3.01	3.01	3.03	3.03

Tableau 3-1 : résultats de la calcination des produits marchands.

Tel que :

d0 (A), d0 (B) : les densités avant calcination des produits A et B respectivement,

d1 (A), d1 (B) : les densités après calcination des produits A et B,

ΔM (A), ΔM (B) : la perte à la masse des échantillons des produits A et B.

Le graphe correspond aux résultats des pertes dans le tableau est représenté ci-après :

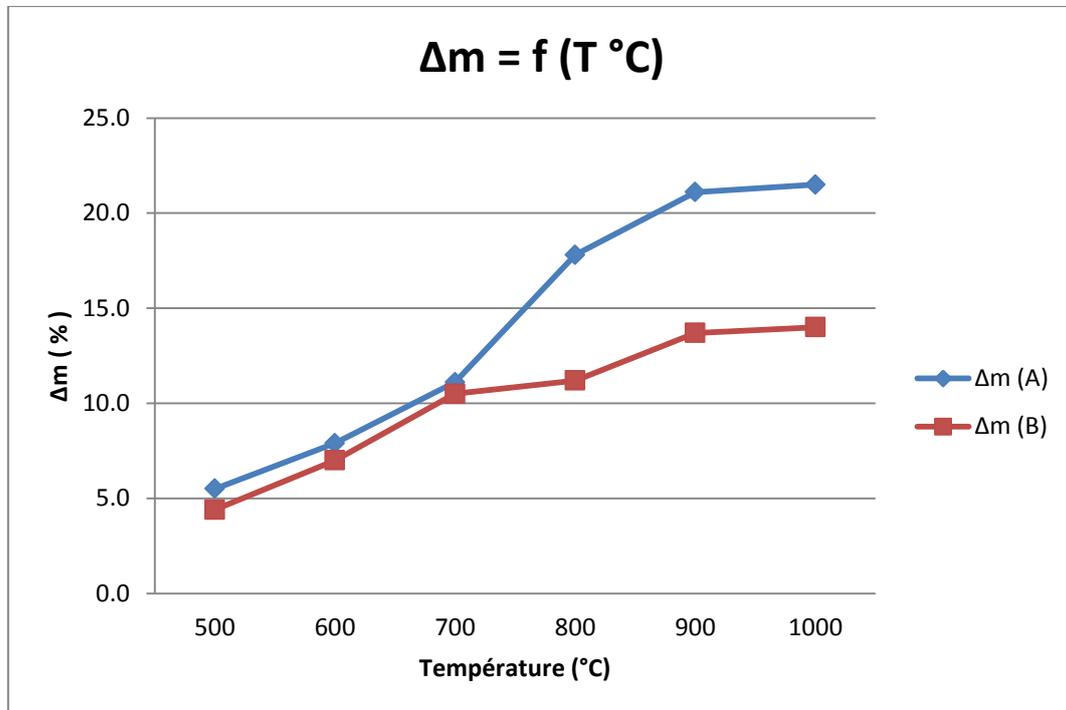


Figure III-2 : La perte en poids en fonction de la température.

❖ **Commentaires :**

- La perte en poids des échantillons des produits A et B représente une relation proportionnelle avec de la température de calcination.
- La perte à la masse sur l'intervalle [500-700 °C] augmente d'une façon presque semblable dans le cas des échantillons A et B. Au-delà de 700 °C, chaque produit prend sa propre évolution.
- Dans l'intervalle [900-1000°C], le pourcentage de la perte se voit presque stable avec une valeur maximale environ de 21% pour l'échantillon A et 14% pour l'échantillon B.

A partir des résultats obtenus, on peut dire que la température optimale de calcination de produit marchand est de 900°C.

Pour confirmer cette conclusion on passe aux analyses densimétriques sur les échantillons obtenus après calcination, les valeurs des densités trouvées sont présentées dans l'histogramme suivant :

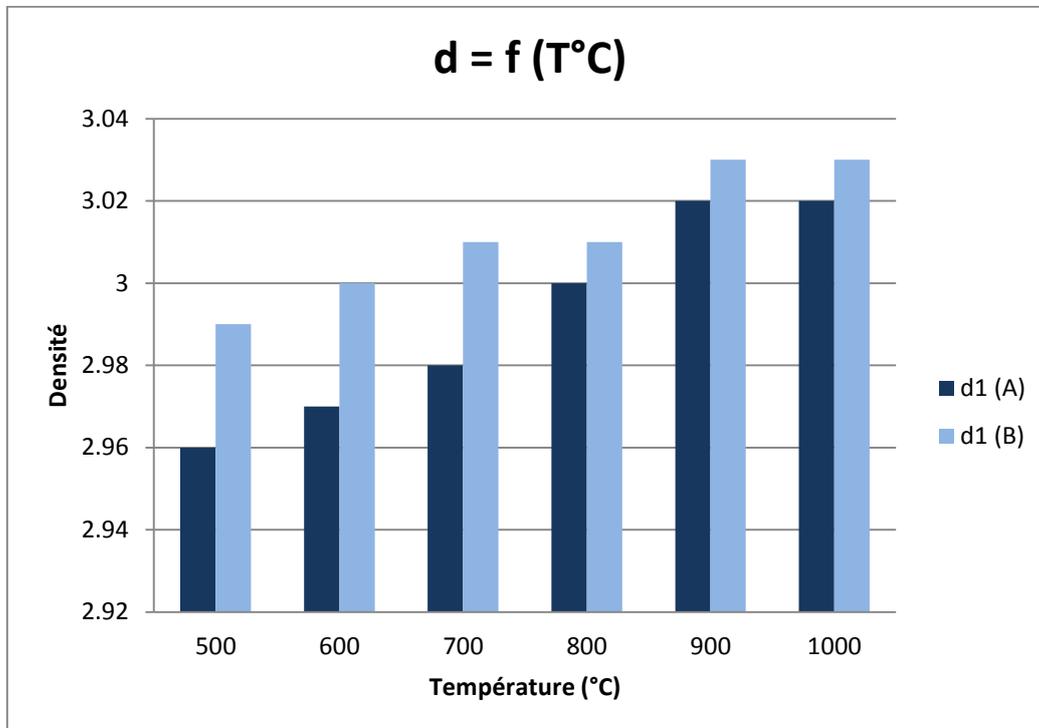


Figure III-3 : la densité des produits A et B en fonction de température.

❖ Interprétation :

- Les valeurs de densité montrent une augmentation en fonction de température de calcination, cette augmentation repose sur une valeur maximale sous une température de 900°C,
- dans l'intervalle [900-1000°C], la densité reste fixe, ce qui signifie que la température optimale de calcination se coïncide avec 900°C. même on augmente la température, il n'aura pas un effet sur la densité (teneur en TPL), car la totalité des carbonates et des matières organique a été détruite.
- Les densités maximales enregistrés correspondent à 3.02 et 3.03 pour les produits A et B respectivement.

Les essais de variation du paramètre de température pendant la calcination de produits marchands du complexe de Djebel-Onk, nous ont permet de déterminer la température optimale qui se fixe à 900°C pour les deux produits A et B.

II.2.4- Influence de temps de calcination sur le produit marchand :

Dans cette partie, on procède des opérations de calcination sur les produits A et B, pour le but de sélectionner le temps de séjour optimal pour la calcination de produit marchand.

On effectue des essais de calcination sous une température fixée à 900°C, pendant des temps variant de 5 minutes jusqu'à 50 minutes.

Les pourcentages de perte du poids pendant la calcination et les valeurs de densités sont exprimés dans le tableau suivant :

Temps (min)	5	10	15	20	30	40	50
d0(A)	2.94						
$\Delta m(A)$ %	15.8	18.9	21.2	19.5	18.4	17.5	17.5
d1(A)	2.98	3	3.02	3	3	2.99	2.99
d0(B)	2.98						
$\Delta m(B)$ %	11.5	15.2	13.7	12.4	12.3	13.4	12.5
d1(B)	3.01	3.04	3.02	3.01	3.01	3.02	3.02

Tableau 3-2 : Les valeurs de perte et de densité en fonction de temps.

Le graphe correspond aux pourcentages de perte est montré en bas :

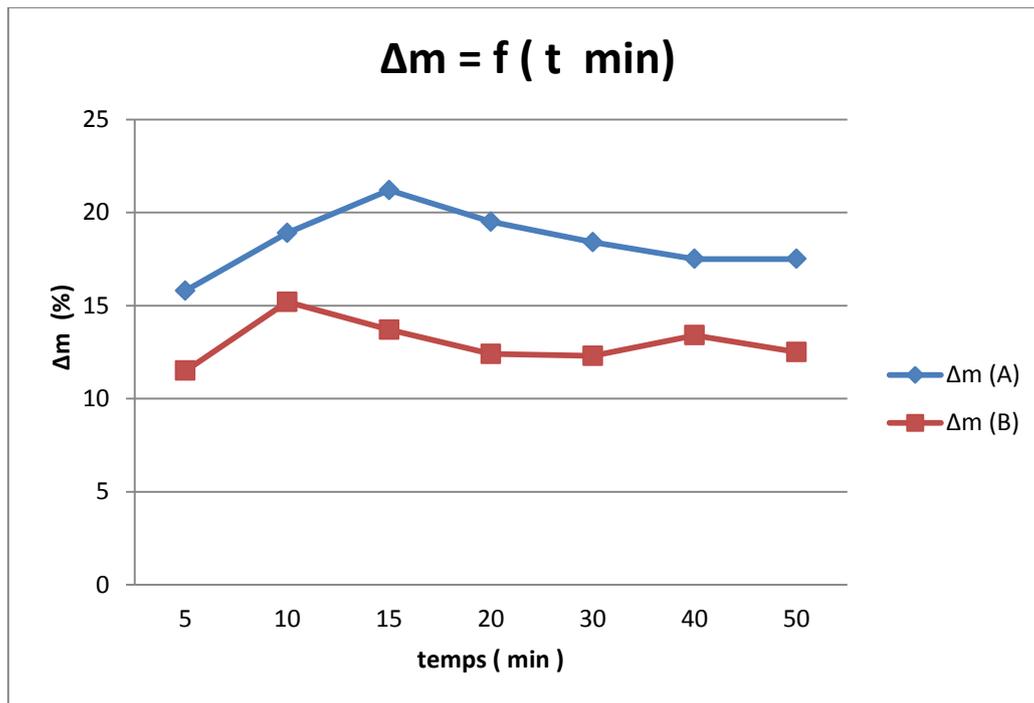


Figure III-4 : la perte à la masse en fonction de temps.

L’histogramme de la densité des produits A et B après calcination est représenté ci-dessous :

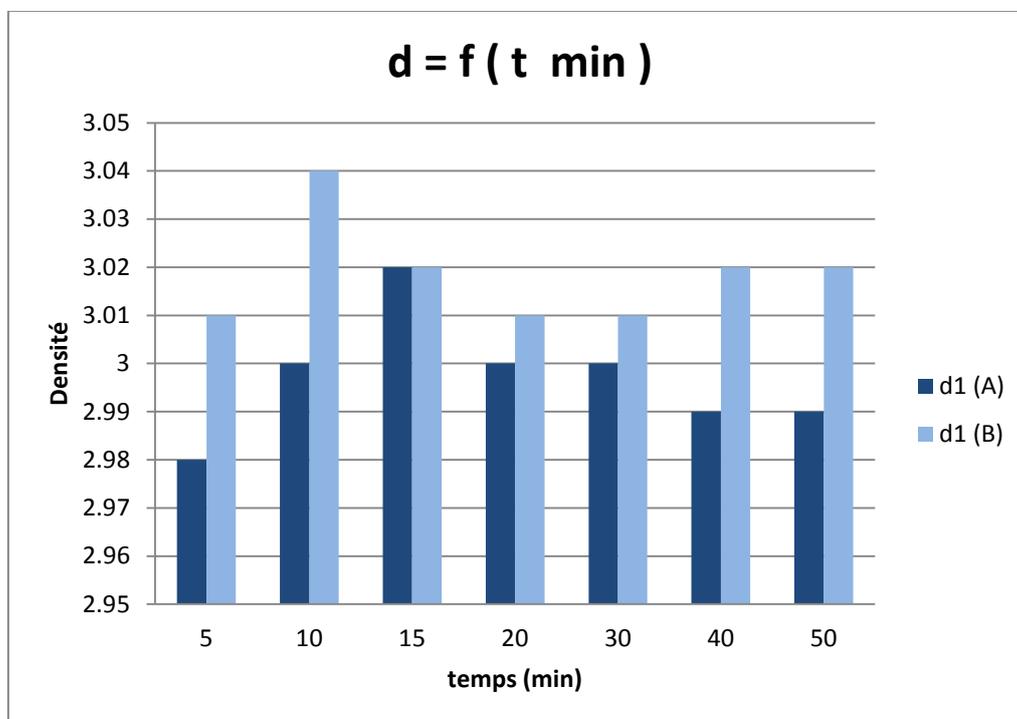


Figure III-5 : Histogramme de la densité en fonction de temps.

❖ Interprétation :

- La courbe de perte de masse montre une augmentation en fonction du temps de calcination, cette augmentation atteint une valeur optimale de 21.2 % pour le produit A et 15.2 % pour le produit B, ces proportions sont enregistrés pendant des temps correspondent à 15 et 10 minutes pour les produits A et B respectivement, au fur et à mesure le temps passe, le poids perdu diminue légèrement et montre une tendance de stabilisation à la fin.
- Les produits A et B obtenus après calcination ont marqués une amélioration en comparant avec valeurs des densité avant calcination, cela veut dire que la teneur en TPL a été augmenté pendant la calcination par l'élimination des matières organiques et la destruction de la reste des carbonates contenant dans les produits A et B.
- L'évolution de la densité a suivi le changement du pourcentage de poids perdu lors de la calcination, tel qu'on a enregistré des valeurs maximales de densité pendant les temps 15 et 10 minutes pour les produits A et B consécutivement.
- Les densités optimales enregistrées (3.02 et 3.04) montrent des valeurs très proches de densité d'apatite pure qui comprise entre 3.16 et 3.2, ce qui explique qu'on a arrivé à une teneur très importante de TPL dans les produits obtenus après calcination.
- Donc à partir des résultats obtenus, on peut résumer que le temps optimal de calcination des produits marchands A et B est 15 et 10 minutes respectivement.

III.2.5- Conclusion :

Les essais de calcination effectués sur le produit marchand du complexe de Djebel-Onk nous ont permis d'obtenir des résultats qui montrent une amélioration claire en termes de densité (teneurs en TPL), sous des conditions optimales tel que :

- La température optimale de calcination est de 900°C.
- Le temps optimal de calcination est 15 minutes pour le produit A et 10 minutes pour le produit B.

III.3- Comparaison entre la calcination du toutvenant et la calcination du produit marchand du complexe de Djebel-Onk :

Dans cette partie, on fera une des essais de calcination sur le toutvenant et sur le produit marchand du complexe de Djebel-Onk pour but de comparer les résultats obtenus et choisir les meilleurs entre eux en termes de densité (TPL).

Pour cela nous avons ramené des échantillons du toutvenant de phosphate de Djebel-Onk (deux qualités beige et noir) pour l'objet de faire une comparaison entre la calcination de toutvenant et de produit marchand.

Les études expérimentales concernant la calcination du toutvenant de Djebel-Onk ont permis de déterminer les conditions optimales de calcination tel que :

- ✓ La température optimale de calcination du toutvenant de Djebel-Onk (beige et noir) est de 900°C.
- ✓ Les temps favorables pour une calcination optimales sont 40 et 50 minutes pour le toutvenant beige et noir respectivement.

Sachant que la granulométrie des produits marchands est comprise entre 90 et 800 μ m, nous avons fixé la même tranche pour les échantillons du toutvenant qui vont passer à la calcination, afin de mettre tous les échantillons testés sous les mêmes conditions de granulométrie.

Les essais de calcination effectués sur les échantillons de toutvenant (beige et noir) et sur des produits marchands (A et B) sous les conditions favorables adoptées pour chaque échantillon dont la granulométrie est de (90-800 μ m), ont permis d'obtenir les résultats représentés dans le tableau ci-après tel que :

M0 : la masse de l'échantillon avant calcination (en g).

d0, d1 : les densités avant, après calcination respectivement.

Δ M : la perte à la masse (en %).

TV-B, TV-N : les toutvenants de type beige et noir respectivement.

Echantillon	Produit (A)	Produit (B)	TV-B	TV-N
M0 (g)	10	10	10	10
d0	2.94	2.98	2.6	2.7
ΔM (%)	19.9	15.5	21.5	24
d1	3.02	3.04	2.91	2.97

Tableau 3-3 : Résultats des pertes et de densité des différents produits calcinés.

- Les histogrammes correspondant aux résultats du tableau précédent sont montrés en dessous :

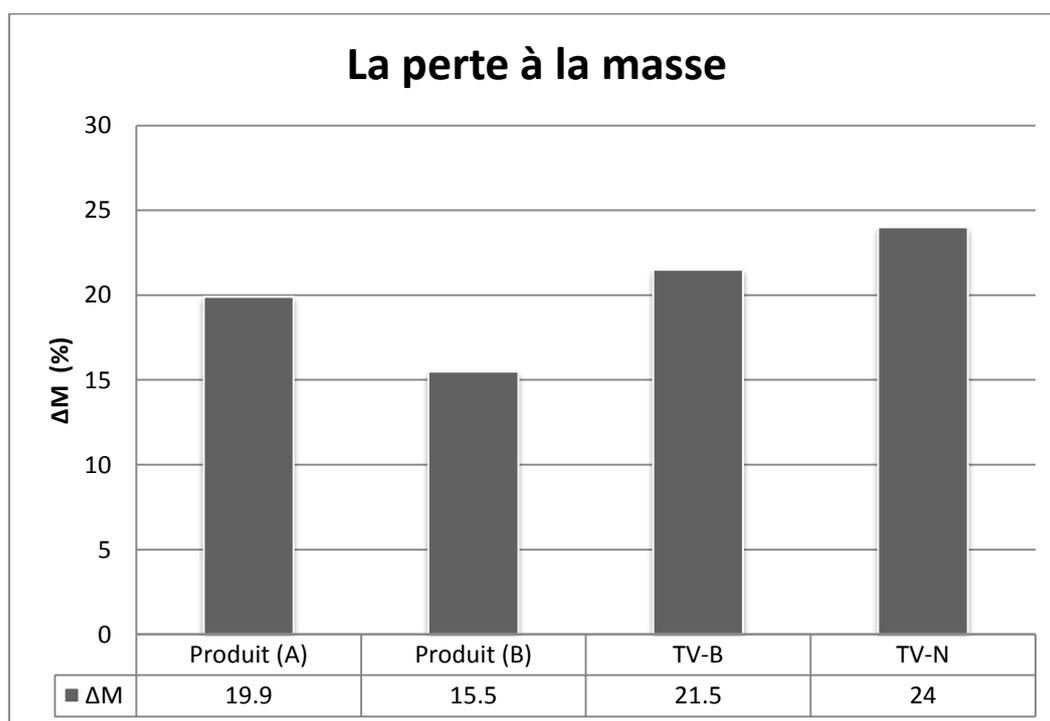


Figure III-6 : La perte en poids des différents échantillons calcinés.

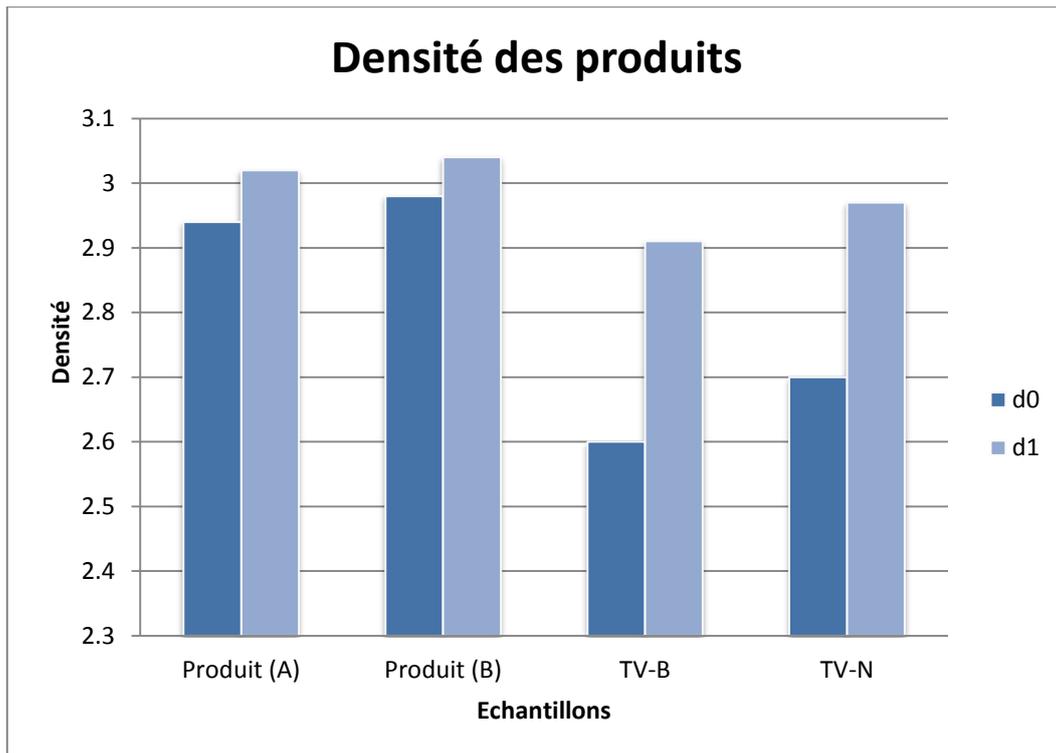


Figure III-7 : Histogramme de la densité des échantillons.

III.3.1- Interprétation :

- La perte à la masse présente une variation différente en fonction des échantillons calcinés, les pertes maximales ont été enregistrées dans le cas des échantillons toutvenants (TV-B et TV-N), tandis que le poids perdu pour les produits A et B a été probablement petit.
- Le pourcentage optimum de perte correspond à une valeur de 24% marquée dans le cas du toutvenant noir.
- La densité obtenue après calcination a vu une amélioration considérable pour les échantillons TV-B et TV-N, alors que dans le cas des produits A et B, la densité montre une légère augmentation.
- Malgré que les densités des produits A et B sont peu améliorées, mais elles restent toujours les densités optimales enregistrées (3.02 et 3.04)

III.4- Conclusion :

Les opérations de calcination effectuées sur les différents échantillons provenant du complexe minier de Djebel-Onk (toutvenant et produit marchand) nous ont permis de comparer les résultats obtenus et sortir avec les points suivants :

- La calcination du toutvenant est plus efficace que la calcination de produits marchand en termes d'amélioration de densité.
- Les densités optimales obtenues après calcination sont enregistrées dans le cas des produits A et B, parce que au début ils étaient plus dense (plus riche en TPL) que les toutvenants.
- La calcination du toutvenant a permis d'obtenir des densités de 2.91 pour l'échantillon beige et 2.97 pour le noir.
- Les concentrés A et B obtenus après calcination auront des densités de 3.02 et 3.04 respectivement. Ce qui montre que la teneur en TPL est bien améliorée et dépasse les 68 % pour le produit A et 65% pour le produit B.
- Donc pour résumer les conclusions précédentes, on dit que la calcination de produit marchand est favorable pour l'obtention des concentrés très riche (titrant plus de 68 % TPL), tandis que la calcination du toutvenant donne des teneurs inférieurs à 68 % de TPL, toutes ces valeurs restent à confirmer par des analyses chimiques précises qui permettent de déterminer les pourcentages exactes de différents constituants des produits obtenus après calcination.

Conclusion Générale :

L'opération de calcination est appropriée dans le cas de produit marchand du complexe de Djebel-Onk, car elle a permis d'obtenir des phosphates riches en P_2O_5 (en TPL), ce type de traitement thermique a été appliqué sur des échantillons marchands de type A et B afin d'obtenir les conditions optimales de calcination, ces conditions sont résumées comme suit :

- ✓ La température optimale est de $900^{\circ}C$ pour la calcination des produits A et B.
- ✓ Le temps optimal de calcination est fixé à 15 minutes pour le produit A et 10 minutes pour le produit B.

Dans une seconde partie, nous avons fait une comparaison entre la calcination du toutvenant et la calcination du produit marchand pour le but de choisir la meilleure méthode qui nous génère une teneur maximale, à partir des résultats obtenus, on peut conclure que :

- ✓ La calcination du produit marchand a donnée des teneurs optimales de 3.02 et 3.04 pour les produits calcinés A et B respectivement.
- ✓ La calcination du toutvenant présente le meilleur taux d'amélioration en termes de densité, mais avec des valeurs inférieurs à celles marquée dans le cas de produit marchand.
- ✓ La meilleure densité obtenue après calcination est celle du produit B, là où on a marqué une densité de 3.04 (teneur élevée en TPL).
- ✓ Les teneurs obtenus après calcination du produit marchand sont plus de 68%
- ✓ Donc la calcination du produit marchand du complexe de Djebel-Onk nous a permis d'obtenir des concentrés plus riches en TPL.

ANNEXE 1 : Analyses Densimétriques :

Les analyses densimétriques dans notre travail sont destinées pour le calcul de différentes densités obtenues après calcination.

Pour bien procéder l'opération d'analyse densimétrique, on a utilisé la méthode au pycnomètre qui est favorable dans nos conditions de laboratoire.

V.10.1- Mode opératoire :

- Peser le pycnomètre vide : masse **m1**.
- Prendre environ 2,5 grammes de l'échantillon.
- Verser les 2,5 g préalablement séché dans le pycnomètre.
- Peser de nouveau le pycnomètre : masse **m2**.
- Remplir le pycnomètre à moitié avec de l'eau distillée et placer le tout sur la plaque chauffante et laisser chauffer (pour dégager les bulles d'air).
- Arrêter le chauffage quand l'eau est portée à ébullition, et laisser refroidir.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 25 ml et peser de nouveau le pycnomètre: masse **m3**.
- Vider le pycnomètre de nouveau, le nettoyer et le sécher.
- Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 250 cm³ et peser de nouveau le pycnomètre : masse **m4**.

Donc, la densité de l'échantillon est déterminée par la relation :

$$d = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 + m_2}$$

BIBLIOGRAPHIE :

- (1) **FERPHOS, Mai 2000.** La minéralurgie des phosphates, procédés et réalisation. Etude Technico-économique.
- (2) **D. McConnell, 1938.** A structural investigation of the isomorphism of the apatite group.
- (3) **MICHAEL SCHORR, ISRAEL J. LIN,** Wet Process Phosphoric Acid Production Problems and Solutions, Industrial minerals, 1997, N°355, pp. 61-71
- (4) **Engelstade, O.P & Hellums, D.T, 1993:** water solubility of phosphate fertilizers, agronomic aspects-literature review, IFDC paper series p-17, Muscle Shoals USA. IFDC.
- (5) **United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) & IFDC 1998.** Fertilizer manual, Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers 615 pp.
- (6) **Rapport d'exploitation** de phosphate de Djebel-Onk (kef-essenoun), SOMIPHOS. Groupe FERPHOS
- (7) **Rapport de traitement** de phosphate de Djebel-Onk (kef-essenoun), SOMIPHOS. Groupe FERPHOS