

2/95

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE MINIER

Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingenieur d'etat

75EME

**Valorisation du minerai de phosphate  
de Djebel Onk par la méthode  
magnetique**

( Etude comparative )

*Proposé par :*

M. M. Ould hamou

*dirigé par :*

M. M. Ould hamou

*étudié par :*

M. Youcef Boukaf

*Promotion 1995*

ENP. 10 Avenue Hacen Badi - El harrach- ALGER

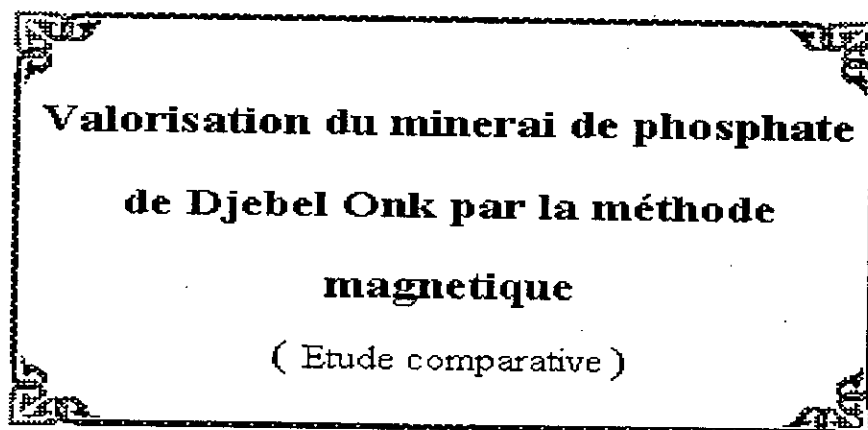
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



DEPARTEMENT GENIE MINIER

Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingenieur d'etat

**75EME**



*Proposé par :*

M<sup>r</sup> M. Ould hamou

*dirigé par :*

M<sup>r</sup> M. Ould hamou

*étudié par :*

M<sup>r</sup> Youcef Boukaf

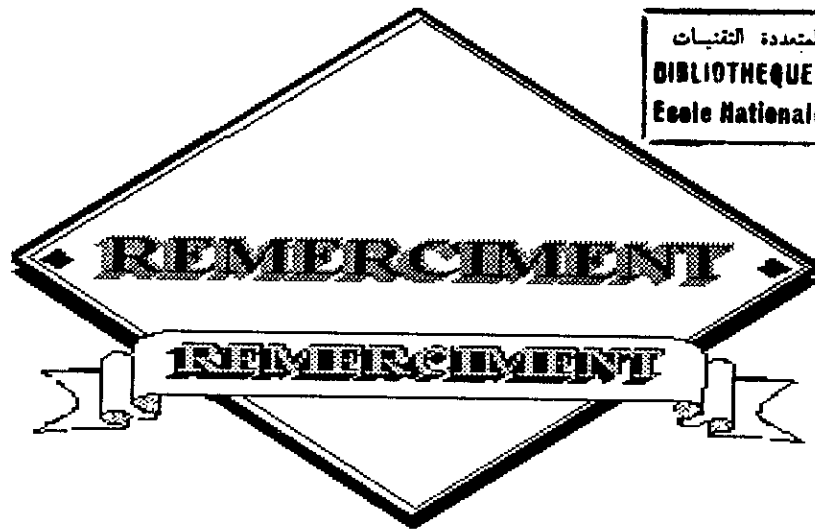
*Promotion 1995*

ENP. 10 Avenue Hacen Badi - El harrach- ALGER

## DEDICACES

Je dedie se modeste travail à  
mes parents , mon frère aîné  
Abdel hamid, mes frères et  
soeurs, mes très chers amis de  
la ( B 110 ) et à toute personne  
qui a un grain d'amour pour  
moi.

*Youcef*



*J'exprime mes remerciements les plus  
sincères à mon promoteur Malek Ould hamou  
qui m'a aidé énormément à achever mon  
travail. Je remercie particulièrement messieurs les  
jurés*

*Je remercie Messieurs Saadene, Farid, Mourad  
et Noureddine du C.I.C.I qui m'ont aidé à saisir  
ce travail. Sans oublier D.Ahmed, Fatah,  
A.Nacera, S.Nacera, Nawal, M<sup>r</sup> Yahiaoui et tous  
les travailleurs et les stagiaires de **L'EREM.***



## TABLE DES MATIERES

	PAGE N°
INTRODUCTION .....	01
<b>I- ETUDE GEOLOGIQUE .....</b>	<b>01</b>
I-1- GEOLOGIE GENERALE DE DJEBEL ONK .....	02
I-2- GEOLOGIE DU GISEMENT DE DJEBEL ONK .....	04
<b>II- ETUDE MINERALOGIQUE .....</b>	<b>06</b>
II-1- GENERALITE SUR LE PHOSPHATE .....	06
II-2- EVOLUTION DES ELEMENTS PHOSPHATES .....	07
II-3- MINERAUX DE L'EXOANGUE .....	08
II-4- CARACTERISATION DES ELEMENTS PHOSPHATES .....	08
II-3- MINERAUX DE L'EXOANGUE .....	08
II-5- COMPOSITION DE L'APATITE ALGERIENNE .....	11
<b>III- PRODUCTION, COMMERCIALISATION, ET PRIX</b>	
<b>DU PHOSPHATE DANS LE MONDE .....</b>	<b>12</b>
III-1- LA PRODUCTION .....	12
III-2- LA COMMERCIALISATION .....	12
III-2-1- CLASSIFICATION DU PHOSPHATE DANS LE MARCHÉ.....	12
III-2-2- LES EXPORTATIONS .....	13
<b>III- LE PHOSPHATE EN ALGERIE .....</b>	<b>13</b>
<b>V- LES GRANDS PROCEDES DE TRAITEMENT</b>	
<b>DU PHOSPHATE .....</b>	<b>16</b>
V-1- LA CALCINATION .....	16

V-3- SECHAGE ET DEPOUSSIERAGE .....	16
V-4- FLOTTATION .....	17
<b>VI- LES METHODES CLASSIQUES ACTUELLES DU          TRAITEMENT DU PHOSPHATE DU GISEMENT          DE DJEBEL ONK .....</b>	
	17
<b>VII- PARTIE THEORIQUE .....</b>	19
VII-1- APERCU HISTORIQUE .....	19
VII-2- LES METHODES BASEES SUR LE MAGNETISME .....	20
VII-3- DEFINITION DE TERMES RELATIFS A L'AIMANTATION DES CORPS .....	20
VII-4- CLASSIFICATION DES SUBSTANCES .....	22
VII-5- CLASSIFICATION DES SUBSTANCES MINERALES EN FONCTION DE LEURS SUSCEPTIBILITE.....	24
<b>VIII- LES SEPARATEURS MAGNETIQUES .....</b>	25
VIII-1- SEPARATION MAGNETIQUE A SEC .....	25
VIII-2- SEPARATION HUMIDE A BASSE INTENSITE .....	26
VIII-3- SEPARATION A HAUTE INTENSITE A SEC .....	26
VIII-4- SEPARATION A HAUTE INTENSITE EN MILIEU HUMIDE .....	28
<b>IX- PARTIE EXPERIMENTALE .....</b>	29
IX-1- LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SEPARATEUR .....	29
IX-2- INFLUENCE DES PARAMETRES DU REGLAGE .....	31
<b>X- ESSAIS DE SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE          INTENSIT DU MINERAI DE DJEBEL ONK .....</b>	32
<b>X 1 LES RESULTATS EXPERIMENTAUX.....</b>	34
<b>XII CONCLUSION ET RECOMMENDATION .....</b>	75
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	76

## I / INTRODUCTION

Il est connu qu'une quantité considérable de phosphate consiste en pauvres minerais avec une gangue carbonatée dominante. Leur valorisation demande des traitements complexes parmi lesquels, excepté la calcination qui demeure très repondue au niveau industriel et la flottation selective. Les separations magnétique comme électrique ont besoin d'être developpées et peuvent avoir un role très important dans l'industrie.

Cependant, alors qu'un totale attention a été donnée à la flottation (Beaucoup De méthodes de flottation pour l'enrichissement des phosphates à gangue carbonatée ont été proposées dans la litterature ), Une negligeeable attention a été donnée aux separations électrique et magnétique, les avantages évidents du potentiel inutilisé des separations électrique et magnetique, sont :

- 1-La methode peut montrer une bonne selectivité par rapport à d'autres methodes .
- 2-Elle peut être utilisée sans reactif, ce qui est important de nos jours afin de sauvegarder l'environnement .
- 3-En combinant les methodes électriques et magnétiques, les particules finement dispersées dans les zones de séparation, peuvent être retenues evitant ainsi l'émission

des poussières, problème qui surgie dans les processus à voie seche.

Par dessus tout le fait que les méthodes magnétiques et électriques ne demandent pas d'eau ce qui exclue le problème des traitements des eaux usées ,et une organisation de recyclage des eaux.

-La méthode est souhaitable pour les pays secs où l'eau est rare ( ce qui est le cas de l'Algerie Djebel Onk )

-Le besoin d'economiser l'eau, source rare dans la region Bir el-Atter .

-le minerai peut être adapté à ce mode de traitement et le criblage ( classification par classe ) peut être tout ce qui est demandé.

Le travail actuel est d'examiner la possibilité de classification du phosphate utilisant le séparateur magnétique.

Cependant l'enrichissement du phosphate par cette méthode ne peut être achevé totalement car l'analyse microscopique montre que ses impurtés sont fortement dispersées dans la matrice du phosphate, ainsi un broyage non-economique fin est demandé pour une liberation complète.

Notre objectif étant de traiter le phosphate aussi loin que possible dans leur forme native.

Tout le travail actuel est à l'échelle du laboratoire et ne demande aucune préparation complexe, son exploitation à l'échelle industrielle est possible.

## I - ETUDE GEOLOGIQUE

### **I -1 / Géologie générale de DJEBEL ONK [ 1 ]**

Le DJEBEL Onk est un anticlinal ouvert dans les calcaires du maestrichtien . Cette structure au niveau des lumachelles du montien, mesure 17 Km de long pour 3.5 Km de large en moyenne. les zones synclinales périphériques étant couvertes par des alluvions, il est difficile de connaître exactement la surface et la hauteur de fermeture.

Cette surface est au moins de 60 Km<sup>2</sup> pour une hauteur de fermeture minimum de 250m. L'anticlinal comprend deux culminations orientées sensiblement E-W. cet anticlinal flexuré et faillé au sud, est très dissymétrique. Le flanc nord plonge assez calmement avec des pentages inférieurs à 10 degrés tandis que le flanc sud prend rapidement un pendage supérieur à 50 degrés et devient parfois vertical même renversé. Une importante faille sépare ces deux flancs.

La phase tectonique principale semble être anté-miocène et post-lutétienne. En effet, les dernières couches plissées sont les calcaires, gypses et argiles du lutétien; et les sables et argiles continentaux du meocène sont transgressifs d'Ouest en Est sur les différents termes de l'Eocène inférieur et moyen, au NE et au S de l'anticlinal. Cet anticlinal a été affecté plus récemment par une tectonique post-pliocène à laquelle serait due la flexure et les différentes failles qui rajeunissent le relief, Ces accidents ont été probablement provoqués par un effondrement du socle de direction E-W; phénomène qui est à mettre en relation avec l'affaissement, au cours du meocène et du pliocène, de la plate-forme saharienne.

Deux forages ont été arrêtés dans l'Albien supérieur de Djebel Onk a été mené jusqu'à une série dolomitique probablement aptienne.

#### **I 1 a / stratigraphique**

Nous reproduisons la coupe stratigraphique de Djebel Onk qui est la plus complète. Dans les autres puits (sondages) éloignés de 1 à 8 Km de Djebel Onk, on observe dans l'ensemble peu de variations de faciès ou d'épaisseur

#### **A - CRETACE SUPERIEUR**

##### **1 -MASTRICHTIEN de 0 à 124 m.**

Le mastrichtien est essentiellement composé de calcaires. Ce sont des calcaires crayeux, blancs, légèrement dolomitiques qui se chargent en silice



dans la partie inférieure de la Série. Par corrélation avec les régions voisines, il semble que cette Série soit attribuable à la base du maestrichtien. On observe au toit de ces calcaires, à l'affleurement, une surface rubéfiée et taraudée qui peut indiquer une interruption de sédimentation. Sur cette surface repose une Série de marnes à bancs de calcaires lumachelliques attribuée au Dano-montien .

## **2 - CAMPANIEN de 124 à 730 m**

Le Campanien peut se subdiviser en trois parties :

A - de 124 à 544 m: marnes ou argiles ou vertes, glauconieuses comprenant des passées de calcaire marneux gris surtout au sommet de ce terme

B- de 544 à 630 m apparaissent des calcaires gris, microdétritiques argileux à fines intercalations d'argile ou de marne verte,

C - 630 à 730 m de nouveau des marnes et des argiles vertes ou noires à minces passées de calcaire argileux.

## **3 - SANTONIEN de 730 à 867 m**

Le Santonien est marneux et ne se distingue pas lithologiquement du terme précédemment décrit.

## **4 - CONACIEN de 867 à 1370 m**

On peut subdiviser le coniacien en deux ensembles, l'un surtout marneux de 867 à 999 m , et l'autre de 999 à 1370 m composé d'une alternance de calcaires et de marnes

## **5 - TURONIEN de 1370 à 1550 m**

on distingue aussi deux parties dans le Turonien :De 1370 à 1455 m, une alternance de marnes grises à noires plus au moins dolomitiques et de calcaires marneux par fois graveleux et bitumineux. De 1455 à 1550 m, un ensemble de deux masses calcaires séparées par une passée marneuse de 25 m environ.

## **6 - CENOMANIEN de 1550 à 1890 m**

Le Cémonien est constitué par une alternance assez uniforme de marnes noires, ou d'argiles vertes et de calcaire beige graveleux ou lumachellique contenant une grande abondance de microfaune.

### **B- CRETACE INFÉRIEUR**

**1 - Albien carbonate de 1890 à 2250 m.**

**2 - Albien marneux de 2250 à 2347 m.**

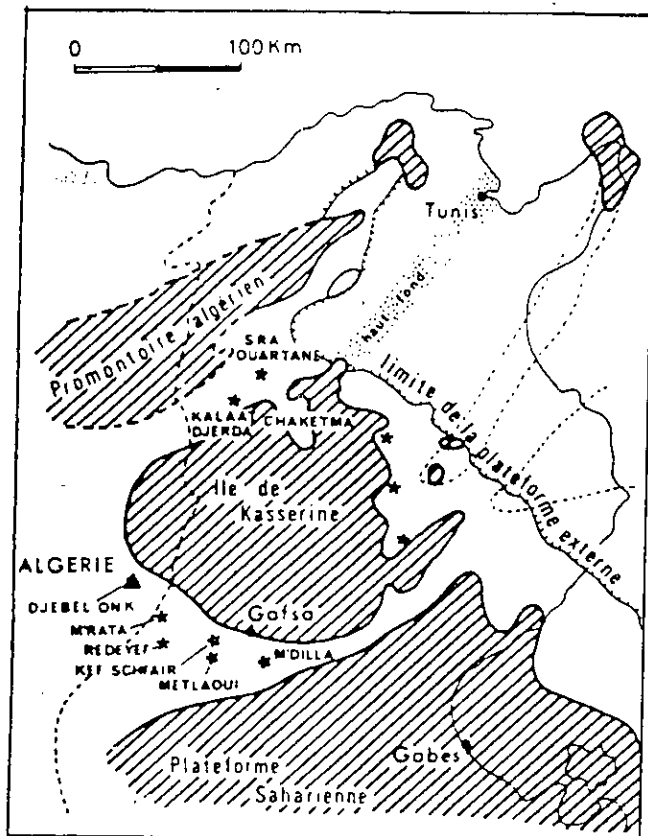
**3 - Albo-Aptien de 2347 à 2455 m.**

## I - 2 / GEOLOGIE DU GISEMENT DE DJEBEL ONK [2]

Le gisement de Djebel Onk s'étend sur une vingtaine de kilomètres le long de la frontière algero-tunisienne, et fait partie des accumulations phosphatées de la région ( fig 2 ). Au sein de la Série sédimentaire du Djebel Onk, la formation de Djemidjema correspond en partie à une puissante couche phosphatée (30m), datée du thanitien, sans intercalations stériles. Il s'agit d'une phosarénité dolomitique mal stratifiée ( fig 3 ).

Les différentes couches déterminées antérieurement par VISSE (1952) et nommées " faisceaux " par les exploitants sont difficilement visibles sur l'ensemble du gisement. Ceci rend délicat les corrélations lithostratigraphiques et l'estimation des variations géologiques qui est indispensable à l'optimisation de la valorisation du minerai.

Afin de palier cette difficulté, la caractérisation du minerai et de ses variations géologiques a été entreprise séquentiellement.



- ▲ Gisement de Djebel Onk
- \* Gisements tunisiens Fig. 2 — Localisation paléogéographique.
- ▨ Zone émergée (Eocène)
- - - Frontière algéro-tunisienne

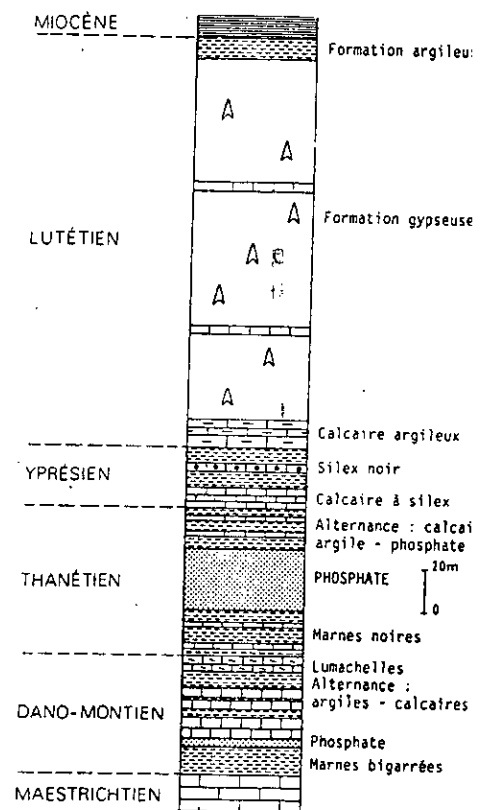


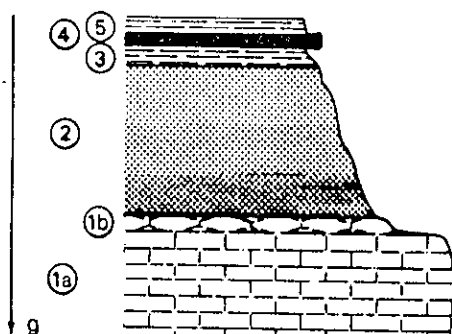
Fig. 3 — Série stratigraphique.

## I - 2 a/ LES VARIATIONS GËTOLOGIQUES :

Rappelons que la séquence est une unité de sédimentation encadrée par deux diastèmes. Cette unité est répétitive tout en subissant des déformations pétro-minéralogiques ou d'épaisseur de ses termes lithologiques .

Les diastèmes se présentent comme des surfaces de discontinuité de sédimentation correspondant à des périodes de non dépôt suivies parfois par des remaniements ou des érosions.

Entre ces diastèmes, la succession de lithofaciès marque l'évolution dynamique du dépôt. Les granulométries grossières, les grainstones et packstones en base de séquence correspondent à de hauts niveaux d'énergie, alors que le sommet de séquence où se localisent leurs granulométries fines et les mudstones, représente une basse énergie de dépôt (fig 4 ).



In Champetier et al., (1980).

- 1a: phosarénite sparitique diagénétique
- 1b: phosarénite microsparitique diagénétique
- 2: phosarénite grossièrement granoclassée
- 3: couche d'argile montmorillonitique
- 4: couche de silice ou de chert
- 5: couche d'argile montmorillonitique
- g: sens du dépôt

Dans le cas du Djebel Onk, seul le terme 2 est présent avec une matrice de dolomite sparitique.

Fig. 4. — Exemple de la séquence idéale phosphatée (Maroc).

Les séquences peuvent se regrouper en ensembles répétitifs ou analogiques. Ces groupements sont appelés des mégaséquences. Au travers des oblitérations digénétiques, la séquence est l'expression d'une variation de la dynamique de dépôt marquée par l'évolution de certains paramètres du lithofaciès tels que la granulométrie .

Dans le cas particulier de la couche de phosarénite du Djebel Onk, en l'absence de critères permettant de définir les textures, la granulométrie reste le paramètre utilisable pour une description séquentielle du gisement. L'étude séquentielle permet d'aborder les variations gëtoologiques. On peut ainsi globaliser sur une base sédimentologique raisonnée les variations de paramètres granulométriques. Il est possible ainsi de déterminer des coupures granulométriques hautes et basses facilitant un enrichissement du minéral.

Au Djebel Onk, les corrélations entre sondages ont été effectuées en prenant une définition granulométrique des séquences et en suivant les variations et modifications des termes granulométriques.

## II ETUDE MINERALOGIQUE [3], [4]

### II 1 / GENERALITE SUR LE PHOSPHATE

En agriculture, si l'on veut assurer de hauts rendements à l'hectare, il faut fournir aux plantes trois éléments principaux : l'azote le potassium et le phosphore. Ces éléments disparaissent au fur et à mesure que les récoltes ont lieu.

Il existe pas de substitut au phosphore de sorte que la seule ressource en phosphore est le phosphate minéral. On ne peut pratiquement pas recycler le phosphore. Car les récupérations secondaires sont très limitées, voire inexistantes. Traditionnellement on pensait, il y a une vingtaine d'années, que les approvisionnements en phosphate étaient assurés et que des ressources additionnelles pouvaient être rapidement mises sur le marché, si le besoin s'en faisait sentir.

Pour la première fois dans l'histoire de l'industrie phosphatière, qui a commencé aux environs de 1850, les prix de la matière première augmentèrent d'une façon vertigineuse en 1973-1974 les phosphates marchands coûtèrent 4 à 5 fois plus. Pendant cette période, qui coïncida à une demande exceptionnellement forte et à une résistance de très faible aux augmentations successives de prix, la production mondiale de phosphates bruts dépassa 100 millions T/an. Beaucoup de gisements n'étaient pas économiquement viable lorsque le prix de vente du phosphate était de 12 à 14 devinrent immédiatement rentable et furent développés afin d'augmenter la capacité, la réaction au niveau trop élevé des prix, s'opéra en fin 1974 et durant 1975; la demande déclina. Durant 1976, les internationaux chutèrent car les agriculteurs, refusèrent d'acheter autant d'engrais que par le passé.

Dès 1977 et en 1978, la demande subit une relance importante, mais il n'en demeure pas moins que la sécurité des approvisionnements pour les pays d'agriculture intensive, reste pour ceux-ci, une préoccupation très nette.

Il est quasiment certain que ce problème étant lié à celui de la nourriture de l'humanité, les pays possédants des ressources phosphatières vont augmenter leur influence sur la production et les prix des aliments.

La croûte terrestre contient environ 0.23% de  $P_2O_5$  qui donne une réserve en phosphate de  $25.6 \cdot 10^{15}$  tonnes et l'on compte 200 espèces minérales contenant au moins 1% de  $P_2O_5$ . Si l'espèce minérale la plus répandue est l'apatite de formule générale  $Ca_5(PO_4)_3.F$  et si cette dernière représente la plus grande importance économique, il n'en demeure pas moins que ce cristal appartient à une famille minéralogique ou l'on rencontre

d'importantes substitutions. Cette complexité dans la définition du matériau de base doit être mise en relation avec le fait que les 4/5 de la production mondiale de phosphate provient des phosphates d'origine marine et que dans cet environnement a pu jouer à fond les capacités d'échangeurs d'ions qui caractérisent les phosphates.

Uniquement le phosphate blanc et phosphate rouge ont une importance industrielle, surtout dans la fabrication des différents acides.

L'apatite est l'origine de tous les dépôts de phosphate terrestre. Elle existe sous forme d'apatite fluorée et d'apatite chlorée, l'apatite fluorée  $\text{Ca F}_2 3\text{Ca}_3 \text{P}_2\text{O}_8$ , est la forme qui se présente la plus souvent. Elle cristallise dans un système régulier et contient à l'état pur 42.26 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$  et 3.8% de F. Les autres dépôts importants de combinaisons phosphoriques sont constitués par les phosphorites, c'est à dire du phosphate de calcium avec une structure d'apatite qui contient du carbonate de calcium et de magnésium, du fer et de l'aluminium sous forme d'oxydes, de la silice et substances organiques.

A peu d'exception près, les phosphates bruts sont exploités à ciel ouvert, sauf quelques gisements qui sont exploités en galeries de mine. Initialement, on se contentait d'exploiter des dépôts riches, c'est à dire ceux dont la teneur en  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  dépassait 60%. Au fur et à mesure du perfectionnement des méthodes d'exploitation et de traitement de minerais et le développement de la machinerie (coté technique), les frais d'obtention du phosphate brut à la tonne diminuent.

## II 2 / EVOLUTION DES ELEMENTS PHOSPHATES

Des échantillons ont été tamisés sur la gamme de tamis standards entre les coupures 1 mm et 40  $\mu\text{m}$ . Ceci permet de mettre en évidence la répartition des éléments figurés à des teneurs en fonction de la granulométrie. On caractérise ainsi deux intervalles granulométriques.

### A - INTERVALLE 1000 $\mu\text{m}$ - 400 $\mu\text{m}$

Les éléments phosphatés biogènes sont faiblement remaniés est consistant en coproolithes, débris d'os, dents et microfossiles épigénisés.

### B - INTERVALLE 400 $\mu\text{m}$ - 40 $\mu\text{m}$

Les éléments phosphatés sont identiques à ceux de l'intervalle précédente mais présentent un indice de forme plus évolué augmentant sur les tamis les plus bas où l'on aboutit à des éléments très émoussés subsphériques à sphériques qui ont pu être confondus antérieurement avec des oolithes ou des pseudoolithes.

Les fractions granulométriques 1000  $\mu\text{m}$  - 40  $\mu\text{m}$  montre bien une évolution morphologique progressive sous l'effet des remaniements.

### II 3 / MINERAUX DE L'EXOANGUE

La teneur  $P_2O_5$  baisse considérablement pour les fractions inférieures à 100  $\mu m$  et essentiellement en relation directe avec la présence de cristaux de dolomite à laquelle s'ajoute la localisation de quartz en dessous de 125  $\mu m$ .

L'exogangue carbonatée est constituée de dolomites dont les cristaux automorphes et subautomorphes forment des agrégats à partir de 160  $\mu m$  piégeant des éléments phosphatés.

Le quartz en proportion moins importante est surtout présent sous forme de cristaux automorphes néoformés.

### II 4/ CARACTERISATION DES ELEMENTS PHOSPHATES

L'analyse des structures internes par microscope optique et microscope électronique montre que ce sont bien les mêmes éléments qui subissent une évolution morphologique externe par usure et fractionnement. Parmi ceux ci, on peut reconnaître :

- Les oncolithes présentant ou non un nucléus;
- Les Nubéculaires.

L'ensemble des éléments phosphatés présente un paramètre cristallographique moyen de  $9.32 A^\circ$  montrant qu'ils sont constitués par une carbonatofluorapatite fortement substituée en  $CO_3$  sur le site anionique confirmé par spectrographie infrarouge (fig. 5 ).

Le minerai dit " pseudoolithique " du Djebel Onk est réalité constitué d'éléments phosphatés biogènes se répartissant granulométriquement entre 1000  $\mu m$  et 40  $\mu m$  en fonction des remaniements.

Ces éléments biogènes sont constitués d'une carbonato-fluorapatite fortement substituée en  $CO_3$  compatible avec une bonne réactivité et un traitement thermique.

La relation éléments du minerai - granulométrie (fig 6 ) permet une nouvelle approche du près traitement . Le minerai de Djebel Onk est bien un minerai à exogangue magnésienne . La répartition du magnésium varie dans l'espace au sein du gisement; obligatoirement, et contenu des contraintes

imposées par le magnésium, elle va faire varier le rendement  $P_2O_5$  et les teneurs en MgO du concentré.

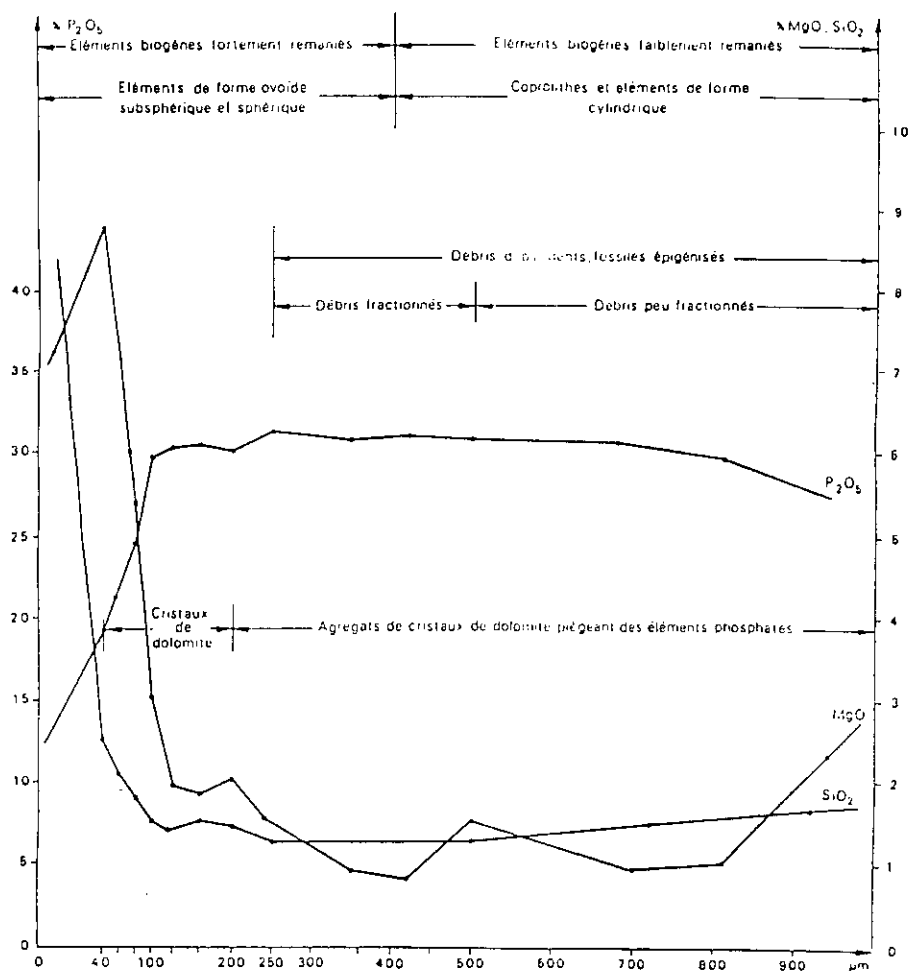


Fig. 2. — Relation éléments du minéral - granulométrie.

Le phosphate a plusieurs caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques ...etc.

Parmi ces dernières on marque les suivantes pour l'apatite .

COULEUR :bleu laiteux , bleuâtre, verdâtre, jaune, brun et gris.

SYSTEME :hexagonal .

DENSITE : 3.1 à 3.35.

DURETE : 4.5 à 5

CONSTANTE DIELECTRIQUE :5.28.

SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE :  $2.64 \cdot 10^{-6}$  C.G.S.E.M.

COMPOSITION CHIMIQUE :  $P_2O_5 = 26.46\%$ ,  $CaO=46.04\%$ ,  $MgO=3.58\%$ ,  $SiO_2=4.09\%$ .

REACTIONS CHIMIQUES :

- attaquée par les acides;
- coloration jaune avec le molybdate d'ammonium en solution nitrique;
- humectée par  $H_2SO_4$  et coloration de la flamme en vert bleuâtre.





## II 5/ COMPOSITION DE L'APATITE ALGERIENNE [5], [6]

L'expression de la formule générale de l'apatite est sous la forme suivante  $A_{10}B_6O_{24}X_2$  tel que A c'est du Ca avec de proportions variables de Na, Mg, Sr, et Mn; B c'est P, Si et S; X c'est F, OH, CO<sub>2</sub> et Cl.

En se basant sur le développement de la formule précédente ( Leher ) donna son modèle  $[[Ca_{10-a-b}Na_aMg_b][PO_4]_{6-x}F_{0.4x}F_2]$ . A condition que

A) Le phosphate provient de l'apatite;

B) Le phosphate a une origine sédimentaire.

En appliquant ce modèle sur l'apatite Algérienne en aura la composition suivante:

$[[Ca_{9.42214}Na_{0.4163}Mg_{0.16156}][PO_4]_{4.56719}[CO_3]_{1.43281}F_{2.57312}]$ . Ce qui donne la composition théorique:

CaO	53.00 %
Na <sub>2</sub> O	1.29 %
MgO	0.65 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36.23 %
CO <sub>2</sub>	6.34 %
F	4.90 %
Total	102.41 %

Considérons F remplace O, on peut corriger le total 102.41 de Fo<sub>x</sub> =  $(4.90/2) * (16/19) = 2.06$  et qui donne  $\Sigma = 99.57 \%$ .

### **III PRODUCTION, COMMERCIALISATION, ET PRIX DU PHOSPHATE :            DANS LE MONDE            [7]**

#### **III 1 / LA PRODUCTION :**

La production et la consommation du phosphate sont intimement liées à l'évolution des engrais phosphatés dans l'agriculture et par conséquent à la production alimentaire.

La production mondiale du phosphate a connu une forte croissance au cours de la décennie 1980, car elle a crû modérément en passant de 139 Mt en 1980 à 165 Mt en 1988 puis à 150 Mt en 1991. Les taux de croissance cumulés entre 1980 - 1985 et 1985 -1990 étaient respectivement de 9% et 4%.

Les principaux producteurs de phosphate naturel sont : les U.S.A. (40 - 50 Mt/an ), l'ex -URSS (35 - 38 Mt/an ), le MAROC ( 20 -25 Mt/an ), la CHINE (15 -18 Mt/an ),la TUNISIE (4 - 5 Mt/an ), la JORDANIE ( 6 - 7 Mt/an ), l'AFRIQUE DU SUD et le TOGO ( 3 Mt/an ).

Alors trois zones principales, (Amériques du nord, Europe de l'Est et l'Afrique ), réalisent plus des trois quarts de la production mondiale. Le phosphate est d'ailleurs l'une des rares matières premières minérales ou la part de l'AFRIQUE est supérieure à 20%. il convient de remarquer que les ETATS UNIS et l'EX- URSS sont les seuls producteurs des zones AMERIQUE DU NORD et l'EUROPE DE L'EST. L'indice de concentration est extrêmement élevé dans la mesure ou trois pays,( ETAT UNIS EX - U.R.S.S. et le MAROC), comptent pour les deux tiers de la production mondiale.

#### **III 2/ LA COMMERCIALISATION :**

##### **III 2-1 /CLASSIFICATION DU PHOSPHATE DANS LE MARCHE**

Le marché de phosphate se divise en deux grandes classes :

**III 2 1 a / Les bas titres** : c'est à dire les minerais dont la teneur et inférieure à 73% en PBL ( bone phosphate of lime ), on peut citer les catégories suivantes avec des exemples

- 58 - 63 % phosphates tunisiens du bassin de Gafsa, M'dila, k djerba; et les phosphates algériens de M'zaita.

- 63 - 65 % : phosphate russe brut.

- 65 -70 % : phosphate kouif Tébessa, américain de Floride, phosphate égyptien de kosseir et de Safaga.

- 68 - 73 % : phosphate de Floride , de Maroc.

**III 2 1 b/ Les hauts titres:** C'est à dire les minerais dosant plus de 73 % de phosphate tricalcique. On a les catégories suivantes :

- 73 - 77 % : phosphate marocain de khoribga, phosphate américain de Floride.

au dessus de 80 % : phosphate russe concentré, phosphate des îles d'Océanie, phosphate américain riche de Curaçao.

### **III 2 2/ LES EXPORTATIONS**

Les exportations mondiales de phosphate ont fortement régressé au cours de la dernière décennie, en chutant de 44.2 Mt en 1987 à 31.4 Mt en 1991. La baisse cumulée est de 29 % ( -15 Mt ). Toutes les zones ont connu une régression sensible de leurs exportations.

### **III 3 / LES PRIX**

A l'image de la plupart des matières premières, les prix mondiaux des phosphates et des engrais phosphatés ont régulièrement baissé depuis le début des années 1980. Ainsi le prix du phosphate diammonique a chuté de 200 \$ la tonne en 1980 à 120 \$ en 1993 ; le prix de l'acide phosphorique a connu une baisse plus importante. Il se négociait à 350 \$/t en 1989 et seulement 214 \$/t au troisième trimestre 1993.

L'abondance de l'offre du phosphate sur le marché mondial et le recul de la demande dans les pays développés, les pays européens surtout, touchés soit par les problèmes de pollution de l'environnement, soit par la récession économique font que les prix évolueront à la baisse. Seuls les prix de l'acide phosphorique résistent tant bien que mal à cette évolution.

## **III LE PHOSPHATE EN ALGERIE**

L'essentiel des ressources de la production de phosphate en ALGERIE est localisé dans le gisement de Djebel Onk situé dans la wilaya de TEBESSA .

D'autres gisements aujourd'hui de faible intérêt économique du fait de ressources limitées ou épuisées ont été exploités puis abandonnés au cours de la première moitié de ce siècle. Il s'agit du Kouif dont la production a culminé à plus de 500 000 t/an au cours des années 50 et redevenue insignifiante après l'indépendance, de Mzaita et dans la wilaya de SETIF dont la production était modeste et de mauvaise qualité. La consommation

nationale de phosphate naturel a stagné depuis une vingtaine d'années à un niveau fluctuant entre 200 000 t et 400 000 t .

### III 1 LES CAPACITES DE PRODUCTION :

Les capacités de production théorique installées dans la région de Djebel Onk, déterminées par les installations de traitement sont :

- Extraction en carrière .....4.5 Mt/an
- Une usine calcination de phosphate calciné.....900 000 t/an
- Deux usines de dépoussiérage de phosphate poussiéré.... 1.8 Mt/an

Les capacités opérationnelles sont bien plus basses du fait du manque de fiabilité des procédés utilisés, ( calcination en lit fluidisé, dépoussiérage à sec ).

- Usine de calcination .....500 000 t/an
- Usine de dépoussiérage ..... 1.2 Mt/an

Le manque de saturation des capacités de production provient de temps en temps de difficultés d'écoulement du phosphate dépoussiéré destiné initialement au complexe d'engrais d'ANNABA et que FERPHOS est obligé de le placer sur le marché mondial alors qu'il n'est pas compétitif du fait de son bas titre en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (28 à 30 % BPL ).

### III 2 MOYENS DE PRODUCTION ET LEUR ETAT MARCHE

Les équipements de la carrière ont bénéficié au cours des vingt dernières années des programmes périodiques de renforcement et de renouvellement, ce qui a permis le maintien d'une capacité d'extraction surdimensionnée.

Les installations de traitement de phosphate comprennent :

- Une station de concassage, criblage primaire de 1200 t/h;
- Une station de broyage, criblage de 3 \* 250 t/h;
- Deux ateliers de dépoussiérage pour la concentration du phosphate à sec de 2000 t/j;
- Une chaîne de débouillage, calcination, lavage , séchage du phosphate de 2000t/j.

Les structures d'appui à la production comportent :

- Des ateliers de maintenance bien équipés;
- Une station service pour engins roulants;

- Des magasins de consommables;
- Un système d'alimentation comprenant une station de pompage, un aqueduc de 90 Km et un réservoir de stockage ;
- Une ligne d'alimentation en énergie électrique de 60 kW;
- Un puits de pétrole situé dans la région qui alimente en huile brute la mine pour les besoins de l'usine de calcination.

### III 3 EVOLUTION DE LA PRODUCTION :

Entre 1980 et 1992 la production de la mine de Djebel Onk a évolué essentiellement comme suit :

	minerai T-V	phosphate depoussiere	phosphate calciné	total concentré
1980	1.974	626		1.025
1985	2.299	786	435	1.221
1990	2.161	747	382	1.129
1992	2.277	747	382	1.143

Les capacités d'extraction en carrière sont utilisées à 60 % et les capacités de traitement à près de 70 % .

Pour tous les produits, il y a eu des augmentations substantielles en dinars (DA) après 1990 qui sont dues à la dévaluation du dinar sur le marché mondial, les prix réels ont stagné ou diminué.

## V LES GRANDS PROCÉDES DE TRAITEMENT DU PHOSPHATE [8]

### V 1 - LA CALCINATION :

La calcination est un traitement thermique, qui consiste à faire passer le minerai de phosphate humide criblé dans un calcinateur rotatif incliné, sous une grande température. Le but de la calcination est d'enrichir le minerai tout-venant en augmentant son titre en BPL. La calcination du phosphate est obtenue en le portant à une température suffisamment élevée, de l'ordre de 800 à 950 °C, pour permettre l'élimination de :

- a- L'eau d'humidité .
- b- L'eau de cristallisation .
- c- L'eau de constitution .
- d- La matière organique .
- e- Le CO<sub>2</sub> des carbonates .

La calcination se fait dans un four tournant à faible vitesse au sein duquel les gaz chauds et le minerai sont à contre- courant .

Elle est appliquée surtout pour traiter les phosphates noirs, qui renferment des matières organiques pouvant atteindre 3% (MAROC). Ces phosphates, une fois calcinés possèdent une teneur en carbone variant de 0.2 à 0.3% . La calcination est très utile pour augmenter la teneur et rendre plus faciles les différents traitements chimiques pour la fabrication des engrais, acides phosphoriques et différentes combinaisons du phosphore .

### V 2- LE LAVAGE :

Le lavage a pour rôle de nettoyer les éléments phosphatés et de séparer les fractions granulométriques les plus pauvres en % BPL .

Ce procédé est appliqué au MAROC pour traiter le phosphate dont l'aspect est sableux, et la gangue est essentiellement constituée par des calcaires, argiles et silice en concentration en grande partie dans la tranche intermédiaire est plus riche en BPL .

### V 3- SECHAGE ET DEPOUSSIERAGE (traitement à sec) :

Le but du séchage est la réduction du taux d'humidité du phosphate de 13 à 20% à environ 1% par évaporation d'eau . L'énergie nécessaire est fournie par la combustion du fuel en présence d'un excès d'air . La chaleur pour l'évaporation d'eau est amenée par l'air chaud de combustion . Le séchage n'est pas une opération d'enrichissement .

Les fines particules sont récupérées dans des chambres à poussière contenant des petits cyclones et envoyées ensuite au stockage avec le reste du produit marchand . Ce procédé est appelé dépoussiérage, appliqué sur les phosphates clairs ( Djebel Onk - ALGERIE , MAROC ) pour diminuer la teneur en chaux (après dissociation du calcaire mêlé au phosphate )et en argiles .

#### V 4- LA FLOTTATION :

La FLOTTATION a pour but de séparer de la gangue l'élément riche du minerai, en le rassemblant à la surface de l'eau dans laquelle on l'a plongé , alors que la gangue reste au fond; dans le cas d'un minerai complexe, elle permet de faire flotter, l'un après l'autre, les divers constituants dont on cherche la séparation ( FLOTTATION différentielle ).

La FLOTTATION donne de très bons résultats, même sur les minerais pauvres ou très complexes. Elle peut être appliquée aux minerais non métalliques dans les gangues silicatées, comme l'apatite et le phosphate sédimentaire. En général, la méthode de traitement actuelle du phosphate est la suivante :

Le minerai est broyé et lavé, classé dans des machines de sédimentation et criblé. Les grains les plus fins sont séparés des stériles (sables et argiles) par flottation. On utilise pour la flottation des acides gras, des savons et des huiles dont on règle le PH à la valeur la plus favorable, de 9 à 10 , par addition de lessive de soude. Les grains fins enrichis sont finalement calcinés entre 500 et 900°C, ce qui les sèche et élimine en même temps les substances organiques et assez largement, l'anhydride carbonique des carbonates contenus dans le minerai .

#### VI LES METHODES CLASSIQUES ACTUELLES DU TRAITEMENT DU PHOSPHATE DU GISEMENT DE DJEBEL ONK:

L'exploitation du phosphate du gisement de Djebel Onk est menée à ciel ouvert à partir de deux gradins verticaux de 15 à 25 m, l'un en stérile de recouvrement et l'autre en phosphate qui prend toute la couche phosphatée.

Le phosphate est concassé, puis broyé à la maille désirée pour libérer les oolithes de phosphate puis subit des opérations d'enrichissement suivant deux procédés :

- Traitement par voie humide , \* un débouillage \* calcination \* lavage \* séchage .

- Traitement par voie sèche un dépoussiérage.

La calcination du phosphate est réalisée dans les sélecteurs Raynauld où le phosphate broyé est débarrassé de sa gangue à l'aide d'un courant d'air ascendant.

L'enrichissement par le premier procédé à un concentré de phosphate dépoussiéré de 63 à 65% BPL.

Le manque d'eau ne permet pas de laver le concentré calciné, ce qui réduit sa teneur à 72 à 74% BPL.

Les installations de traitement comprennent :

-Une usine de débourbage -calcination - lavage - séchage, qui date de 1964.

- Deux usines de dépoussiérage construites en 1972 et 1978.

FERPHOS a innové en la matière en produisant dans les mêmes installations des produits intermédiaires entre le phosphate dépoussiéré pauvre et le calciné lavé très riche, le calciné non lavé à 69 à 72% BPL et le débourbé séché à 66 à 68% BPL.

Les phosphates marchands sont acheminés vers des trémies de stockage, chargés en wagons et évacués par voie ferrée



# VII PARTIE THEORIQUE

[ 9 ]; [ 10 ]; [ 11 ]; [ 12 ]

## VII 1 APERCU HISTORIQUE

THALES de Milet savait déjà, il y a plus de 2500 ans que la magnétite, ou pierre d'aimant attire le fer et PLINE savait aussi qu'elle peut, par influence communiquer cette propriété attractive à un morceau de fer.

L'application des aimants à la navigation, sous la forme de boussole ou compas, est sensiblement plus tardive, : 11 ème et 12 ème siècle de notre ère.

PEREGRINUS de maricourt (1269 ) et surtout William GILBERT (1600) traitent de ces applications et développent ainsi des premières théoriques du magnétisme.

Il faut cependant attendre Charles de COULOMB (1785 ) pour connaître les lois de l'action des charges magnétiques en fonction de la distance et Denis POISSON (1781 - 1840 ) pour amorcer la théorie des champs magnétiques.

Au cours du 19 ème siècle, les connaissances sur les propriétés magnétiques de la matière se précisent progressivement, mais c'est Pierre CURIE qui pour la première fois (1895 ) distingue clairement paramagnétisme et diamagnétisme et met en évidence le passage du ferromagnétisme au paramagnétisme par élévation de température, Paul LANGEVIN édifié ensuite en 1905 la théorie atomique du diamagnétisme et du paramagnétisme, suivi par Pierre WEISS qui développe en 1906 la théorie du ferromagnétisme.

Une seconde génération de physiciens complète l'oeuvre de ces pionniers: parmi eux, J.H .VAN VLECK établit en 1932, la théorie quantique définitive du diamagnétisme et du paramagnétisme; en 1928, W.HEISENBERG découvre dans les échanges électroniques interatomiques, l'origine des interactions ferromagnétiques.

F. BLOCH en 1930 décrit la structure des parois séparant les domaines élémentaires; L.NEEL établit et explique les notions d'antiferromagnétisme (1932) et de ferrimagnétisme (1947).

## VII 2 LES METHODES BASEES SUR LE MAGNETISME

Les techniques de séparation magnétique consistent à soumettre des grains de minerai à des forces magnétiques et mécaniques développées par un séparateur. Suivant leurs propriétés magnétiques, les différentes catégories minéralogiques possèdent des trajectoires caractéristiques de leur nature. On obtient, de la sorte, des fractions extractibles de composition minéralogique et chimique particulière. Les trajectoires des grains résultent avant tout de l'interaction des forces mécaniques et des forces magnétiques. D'une manière générale, il faut que, pour une fraction minéralogique du minerai, les forces magnétiques soient nettement supérieures aux forces mécaniques s'exerçant sur les grains appartenant à cette fraction pour espérer leur extraction.

### VII 3 DEFINITION DE TERMES RELATIFS A L'AIMANTATION DES CORPS

#### VII 3 1 - Intensité d'aimantation

Le moment magnétique d'un aimant dépend de la manière dont il est aimanté et de son volume. Pour comparer les aimantations que peuvent prendre diverses substances, on est conduit à considérer les moments magnétiques d'aimants composés de ces substance et à ramener ces moments à l'unité de volume ou à l'unité de masse.

l'intensité d'aimantation  $I$  exprime le moment magnétique de l'unité de volume de la substance. L'aimantation spécifique celui de l'unité de masse

#### VII 3 2 - Susceptibilité magnétique

(susceptibilité de volume)

C'est un scalaire, quotient de l'intensité d'aimantation par le champ qui le produit.  $I = kH$  ou  $k = I/H$

#### VII 3 3 - Induction

L'induction,  $B$ , est représentée par la somme

$$H + 4 \pi i$$

Dans le vide, l'induction se confond avec le champ. Dans une substance ferromagnétique, on démontre que l'induction est identique au champ qui existerait dans une fissure extrêmement mince, dont les parois seraient perpendiculaires à l'aimantation (WEISS et FOËX, 1941).

### VII 3 4 - Perméabilité

C'est le quotient de l'induction B au champ H qui la crée :  $\mu = B/H$

La perméabilité, égale à 1 dans le vide, peut atteindre des valeurs très élevées dans les corps ferromagnétiques. Son expression est rattachée à celle de la susceptibilité par la formule :

$$\mu = 1 + 4\pi k$$

La perméabilité est très voisine de 1 dans les corps dia et paramagnétiques, pour lesquels k est de l'ordre de  $10^{-6}$ . On voit donc que le passage dans l'entrefer d'un circuit magnétique de grains de produits dia et paramagnétiques ne modifiera en rien les caractéristiques du champ résidant dans cet entrefer.

### VII 3 5 - Susceptibilité de matière

Dans l'aimantation de corps de longueur finie placés dans un champ magnétique, apparaissent au voisinage des extrémités de ces corps des masses magnétiques supposées alignées dans le champ extérieur et créant un deuxième champ orienté en sens inverse de ce champ extérieur.

Ce champ démagnétisant est lié au champ extérieur par l'expression :

$$H_d = N I$$

N : coefficient de démagnétisation.

A l'intérieur d'un corps, se manifeste donc un champ interne, lié au champ extérieur et au champ démagnétisant par la relation :

$$H_i = H - H_d$$

La susceptibilité magnétique k définie plus haut (qui sera dorénavant  $\chi_o$ ) exprimée par la formule :

$$\chi_o = I / H$$

et la susceptibilité de la matière exprimée par la formule:

$$\chi_1 = I / H_i$$

sont donc liées par la relation :

$$\chi_o = \chi_1 / (1 + N \chi_1)$$

Le coefficient de démagnétisation N dépend pour une bonne part de la forme du corps .

Dans la pratique, le calcul montre que pour les minéraux paramagnétiques, qui nous intéressent, la susceptibilité de volume et la susceptibilité de matière sont très voisines l'une de l'autre, et qu'il n'y a pas lieu, dans une étude expérimentale, de les différencier.

### VII 3 6- Susceptibilité de masse

On la nomme également susceptibilité spécifique, elle s'applique à l'unité de masse du corps, alors que les susceptibilités précédemment évoquées s'applique au volume  $\chi = \chi_0 / \rho$

$\rho$  : masse spécifique du corps considéré

Il est donc important, lorsque le terme de susceptibilité magnétique est évoqué, de connaître, en quelque sorte de quelle susceptibilité magnétique il est question ( volume - matière ou masse ).

### VII 4 - CLASSIFICATION DES SUBSTANCES

En physique, une classification sommaire des solides peut être proposée si l'on considère que l'organisation des solides entraîne une interaction réciproque des atomes porteurs de moments. En effet, ceux-ci ne constituent pas un ensemble de particules indépendantes magnétiquement, mais les interactions équivalentes à un champ moléculaire préexistant, pouvant se superposer au champ extérieurement appliqué. - Si les particules constitutives ont toutes un moment nul, le corps est diamagnétique.

- Si un certain nombre de particules constitutives possèdent un moment non nul, il existent deux possibilités :

- Les interactions sont nulles ou faibles : il n'y a pas d'ordre magnétique entre les moments : le paramagnétisme est variable;

- Les interactions sont fortes : il existe un ordre magnétique entre les moments, ordre conduisant suivant les particularités de la structure au ferromagnétisme, à l'antiferromagnétisme, au ferrimagnétisme.

#### VII 4 1 / LES DIAMAGNETIQUES

Les substances diamagnétiques sont caractérisées par une susceptibilité  $\chi_0$  négative. sa valeur est de l'ordre de  $10^{-6}$  C.G.S. et ne dépend pas du champ H et de la température. Dans un champ non uniforme, la force F qui s'exerce sur une particule est dirigée en sens inverse du sens positif du gradient du champ  $\partial H / \partial x$ .

La particule s'éloigne des zones de champ fort pour gagner les zones de champ faible.

#### VII 4 2 / LES PARAMAGNETIQUES

Ces substances sont caractérisées par une susceptibilité  $\chi_0$  positive dont l'ordre de grandeur est de  $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  C.G.S. et par le fait que  $\chi_0$  est indépendant du champ H. Placée dans un champ magnétique non uniforme, une substance paramagnétique est soumise à une force F positive dirigée dans le sens positif du gradient de champ. Elle est attirée vers les zones de champ fort.

Les paramagnétiques ont un comportement variable avec la température. On distingue en conséquence plusieurs catégories de paramagnétiques :

a - Substances paramagnétiques variables : Ce sont les substances pour lesquelles  $\chi$  varie linéairement en fonction de  $1/T$  ( fig. 7 ) :

$$1 / \chi = T / C$$

T : température absolue ;

C : constante de Curie.

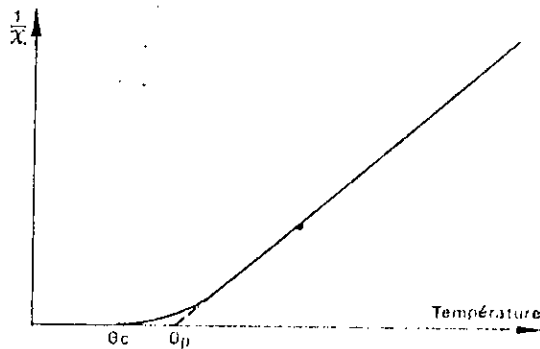


Fig 7. — Variation thermique de la susceptibilité magnétique d'un ferromagnétique au-dessus du point de Curie.

b - substances paramagnétiques constantes : ces corps représentés par FeO, MnO, et NiO qui présentent une variation assez particulière avec la température, et sont appelés antiferromagnétiques.

c - substances paramagnétiques à très faibles susceptibilités ( $10^{-6}$  C.G.S.). Dans certains cas, la susceptibilité dépend de la température ; dans d'autres cas elle est indépendante.

#### VII 4 3 - LES FERROMAGNETIQUES, LES ANTIFERROMAGNETIQUES ET LES FERRIMAGNETIQUES

Les substances ferromagnétiques ont les propriétés suivantes :

- Elles sont fortement attirables dans les zones de champ fort ;
- Leurs susceptibilités dépendent du champ, des traitements thermiques et mécaniques;
- Elles possèdent un cycle d'hystérésis;
- Elles deviennent, à certaines températures, paramagnétiques variables;
- Elles ont une saturation absolue qui est la somme des moments des porteurs.

#### VII 5 - CLASSIFICATION DES SUBSTANCES MINERALES EN FONCTION DE LEURS SUSCEPTIBILITE

En métallurgie, les substances minérales ont été classées en quatre groupes suivant leur comportement dans un champ magnétique. Minéraux fortement magnétiques - Ces minéraux peuvent être extraits sur des séparateurs offrant un champ magnétique d'intensité au plus égale à 1500 OE. La susceptibilité de masse est toujours supérieure à  $3000 \cdot 10^{-6}$  C.G.S.

Minéraux médiocrement magnétiques - Pour ces minéraux les susceptibilités de masse s'étalent entre 600 et  $3000 \cdot 10^{-6}$  C.G.S. L'intensité du champ de séparateur doit atteindre 3000 à 6000 OE pour permettre une séparation.

Minéraux faiblement magnétiques - C'est le groupe le plus étendu, la séparation des minéraux appartenant à ce groupe, nécessite la mise en oeuvre de champs dont l'intensité est comprise entre 6000 et 30000 OE. La gamme des susceptibilités de masse des minéraux du groupe est comprise entre 15 et  $600 \cdot 10^{-6}$  C.G.S.

Minéraux non magnétiques - Ces minéraux non récupérables, même sur un séparateur dont l'intensité du champ est de 30000 OE, comprennent :

- les paramagnétiques de susceptibilité de masse inférieure à  $15 \cdot 10^{-6}$  C.G.S. ; - la totalité des diamagnétiques.

## VIII LES SEPARATEURS MAGNETIQUES

On distingue quatre types d'appareils suivant qu'ils fonctionnent en basse intensité ou en haute intensité et suivant qu'ils travaillent sur un matériau sec ou humide.

### VIII 1 - Séparation magnétique à basse intensité à sec.

Le séparateur magnétique à basse intensité ne concerne que les matériaux ferromagnétiques. Les intensités développées, par les séparateurs magnétiques, à basse intensité, sont de l'ordre de 1000 à 1200 OE. La technique de cette méthode est basée sur le calcul théorique suivant :

soit  $F_m$  la force magnétique ;

$v$  le volume de la particule;

$\mu_r$  la perméabilité relative de la particule ;

$\mu_0$  la perméabilité dans le vide;

$N$  le facteur de démagnétisation ;

$B$  la densité de flux en gauss;

$dB/dr$  le gradient de densité de flux en gauss/m;

$F_c$  la force centrifuge ;

$r$  le rayon du tambour;

$\delta$  la densité de la particule;

$n$  la vitesse de rotation.

Pour avoir cette vitesse de rotation du tambour, qui est déterminante pour la séparation, on doit écrire que la force magnétique  $F_m$  et la force centrifuge  $F_c$  sont égales

$$F_m = \frac{(\mu_r - 1)}{1 + N(\mu_r - 1)} \cdot \frac{1}{\mu_0} \cdot B \cdot \frac{dB}{dr}$$

$$F_c = 4 \pi^2 \delta^2 n^2 r V$$

De l'égalité des deux forces on déduit la valeur de  $n$ .

## VIII 2 - Séparation humide à basse intensité

Ces séparateurs sont utilisés pour la purification des médiums ferromagnétiques des liquides denses et pour la concentration des minerais de magnétite. On peut d'ailleurs équiper d'aimants l'auge d'un classificateur à spirale, pour accélérer la sédimentation des produits magnétiques et leur raclage au fond de l'auge ( épaissement du médium récupéré ).

## VIII 3 - Séparation à haute intensité à sec

Il existe deux sortes de séparateurs à haute intensité à sec :

**VIII 3 1- Les séparateurs à déviation ( fig 8 ) :** Ils comportent une pièce polaire plane et verticale à l'opposé d'un rotor denté. Les particules paramagnétiques sont déviées vers le rotor. Si elles collent contre le rotor, le phénomène sera de faible durée, la force centrifuge décollant très rapidement les particules fixées.

**VIII 3 2- Les séparateurs à collage préalable ( fig. 9 ) :** Une pièce polaire plane est située obliquement à l'opposé du rotor induit denté. Le minerai est déposé de préférence sur le rotor tangentiellement, suivant un plan parallèle de la pièce polaire oblique. Les particules non magnétiques quittent le rotor, tandis que les particules paramagnétiques sont fixées sur le rotor aussi longtemps que les forces magnétiques contrebalancent l'action de la force centrifuge et de la pesanteur.

Dans les deux cas, en première approximation, les forces magnétiques développées doivent atteindre l'ordre de grandeur de la force d'attraction terrestre, d'où :

$$\psi H \partial H / \partial x \approx g$$

Le gradient de champ doit être  $\partial H / \partial x \approx g / \psi H$

### 1- Déviation simple .

- Grains non magnétiques : Ils sont soumis qu'aux forces de la pesanteur et décrivent la trajectoire PR.

- grains paramagnétiques : La surface (S) représentant la limite des gorges de la denture, (S') la surface enveloppant les extrémités des dents. Si R est le rayon correspondant à (S) et R' le rayon correspondant à (S') et si AA' = e est l'entrefer, on doit avoir :  $AA' \leq R - R'$  pour éviter un gradient de champ nul ou trop faible qui ne permettrait aucune déviation des grains.



Si le grain tombe du point P, sa vitesse étant nulle au départ, il rencontrera la surface S' en un point P', tel que :

$$KP' = e \text{ SQRT } ( 2R/e + 3 )$$

A partir de P' le grain est soumis à la force magnétique f axipète; f croît jusqu'à Ox puis décroît, la trajectoire est un arc de courbe PP". P" est le point où la force magnétique est proche de zéro ou nulle. Le grain n'est plus sollicité que par les forces de gravité et il décrit un arc de parabole P"C.

## 2- Collage préalable.

- Le comportement de grains non magnétiques et paramagnétiques peut être analysé de la façon suivante :

a) grains non magnétiques - Le point de décollement des grains non magnétiques se produit en P<sub>1</sub>, lorsque la force centrifuge est prépondérante sur l'attraction terrestre. P<sub>1</sub> est caractérisé par un angle polaire tel que :

$$\sin \alpha = \omega^2 R / g$$

Deux cas peuvent se présenter :  $\omega^2 R / g > 1$  ou  $< 1$ .

- Si  $\omega^2 R / g < 1$ , la force centrifuge agit dès que le grain est déposé sur le rotor;

- Si la vitesse est la même que la vitesse tangentielle du rotor . P<sub>1</sub> est confondu avec le point d'arrivée des grains sur le rotor;

- Si sa vitesse est inférieure à la vitesse périphérique du rotor, le grain décollera en un point P'<sub>1</sub> situé plus bas que P<sub>0</sub>, l'équation de la trajectoire parabolique est :

$$x = R\omega t \sin\alpha + R \cos\alpha$$

$$z = 1 / 2 g t^2 - R\omega t \cos\alpha + R \sin\alpha$$

- Si sa vitesse est supérieure à la vitesse périphérique du rotor, il y a rebondissement.

- Si  $\omega^2 R / g < 1$ , la force centrifuge agissant, il y a décollement à partir de P<sub>1</sub>. On se trouve rarement dans ce cas, les vitesses de rotation sont trop grandes pour permettre cette éventualité.

b) grains paramagnétiques .

- Suivant que le grain tombe sur une arête ou dans une gorge , on peut imaginer deux comportements :

\* Le grain tombe sur une arête : la force magnétique est radiale et centripète : le grain est immédiatement collé ;

\* le grain tombe dans une gorge : la force magnétique se manifeste par une composante centrifuge qui amène le grain sur une arête.

En cours de rotation, le grain est maintenu par une force centripète d'accélération  $\gamma$  telle que

$$\gamma > \omega^2 R - g \sin\theta \quad \gamma \text{ dépend de } H \text{ et de } \partial H / \partial x$$

Si le coefficient de frottement est suffisamment élevé pour contrebalancer  $g \cos\theta$ , composante tangentielle de l'accélération de la pesanteur, il n'y a pas de glissement. Le grain décolle en  $P_2$  lorsque :

$$\gamma = \omega^2 R - g \sin\beta$$

Si le coefficient de frottement est faible, la composante tangentielle de la pesanteur provoque un glissement. Le point de décollement est situé plus haut que  $P_2$ .

#### VIII 4-Séparation a haute intensité en milieu humide

La séparation à haute intensité humide est rarement utilisée industriellement à cause de ses grosses difficultés technologiques . Soit dans le domaine de l'étanchéité des rotors, soit dans le domaine des réglages.

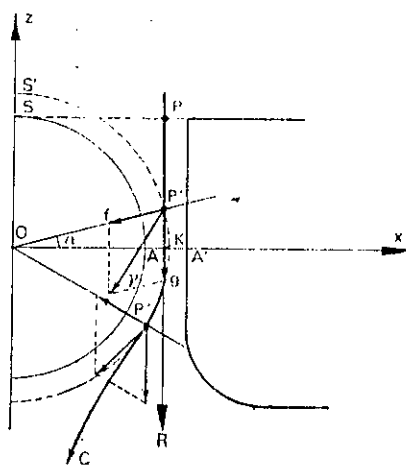


FIG. 8  
Séparateur à haute intensité  
à déviation

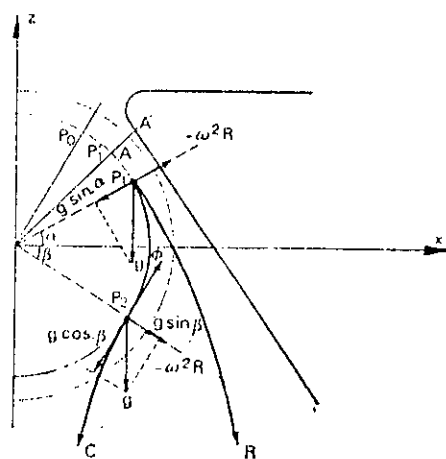


FIG. 9  
Séparateur à haute intensité  
à collage

# **IX PARTIE EXPERIMENTALE**

Les expériences de la séparation magnétique ont été faites au niveau de la société (E.R.E.M) à Boumerdes sur le séparateur magnétique de type CARPCO modèle MIH (13)111-5 (MS5 - 12).

Avant de commencer notre travail, on va décrire succinctement le séparateur utilisé avec tous les paramètres de son réglage, afin de bien connaître ceux qui peuvent influencer sur la séparation du minerai à étudier et les valeurs des résultats

## **IX 1- LES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SEPARATEUR**

Le séparateur comme montre la (fig. 10) est composé de

- 1 - Contrôleur de vitesse;
- 2 - Contrôleur d'intensité;
- 3 - Une trémie d'alimentation;
- 4 - Un rotor ;
- 5 - Fente de réception.

### **1 Le contrôleur de vitesse ① ( fig 10 ... )**

Le contrôleur de vitesse est gradué de 0 à 120 graduations, et qui peut varier la vitesse du rotor de 0 à 300 tour/minute. Or on a rencontré un problème lors des expériences; c'est que pour une même graduation du contrôleur, et pour deux valeurs différentes de l'intensité du champ magnétique, la vitesse du rotor n'est pas la même.

### **2 Le contrôleur de l'intensité ② (fig 10: )**

Se dernier est gradué de 0 à 3 et, qui permet de varier l'intensité électrique de 0 à 3 Ampères. Le problème qui s'est posé avec celui là, c'est que après un certain moment de travail de l'appareil l'intensité ne peut dépasser guère les 2.5 A.

### **3 La trémie d'alimentation ③ (fig 10.3 )**

Cette dernière est très simple, n'est pas dotée d'un système de vibration, placée au dessus du rotor ( qui veut dire que le système est à collage préalable). Ouverture variable pour contrôler le débit d'alimentation.

#### 4 Le rotor ④ (fig 10.4 )

Le rotor de cette appareil a un diamètre de 13 Cm et une épaisseur de 5 Cm .

#### 5 Fente de réception ⑤ (fig10.5 )

Cette dernière est située au dessous du niveau du rotor pour pouvoir récupérer les fractions. Elle est constituée de deux volets de coupure ce qui nous permet de récupérer trois fractions, magnétique; mixte; et non magnétique.

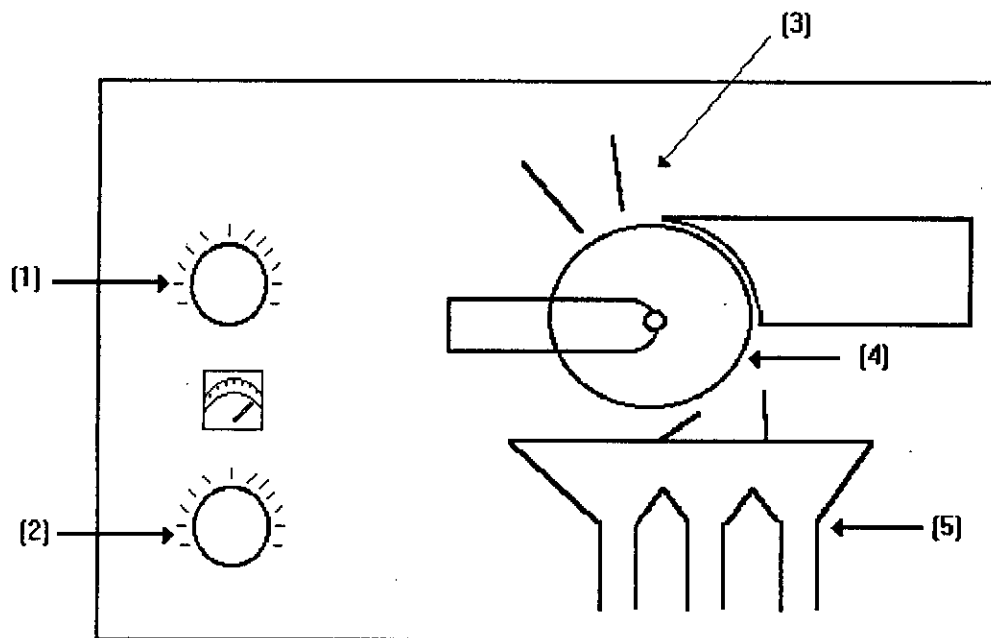


Fig : 10

## **IX 2- INFLUENCE DES PARAMETRES DU REGLAGE**

### **IX 2 a Influence de l'intensité du champ :**

La valeur du champ magnétique varie proportionnellement avec l'intensité du courant. Et comme le minerai déphosphaté de Djebel Onk est un paramagnétique, donc ça nécessite un champ magnétique très élevé.

### **IX b Influence du débit d'alimentation :**

Le débit d'alimentation a une très grande influence sur la qualité de la séparation, ce qui exige un contrôle très prudent de l'ouverture de la trémie car cette dernière n'est dotée d'un système de vibration.

### **IX c Influence de la granulométrie :**

En plus des forces magnétiques et mécanique, s'exercent également des forces d'attraction intergranulaires, de sorte qu'en pratique on ne peut traiter un matériau dont les dimensions sont inférieures à 0.1 mm. La limite granulométrique supérieure est de 2mm et elle est en général liée à la possibilité de créer un champ magnétique d'une intensité suffisamment élevée, et aussi au degré de libération des minéraux. On remarque que les classes comprises entre -2mm et 0.1mm se séparent aisément.

### **IX d Influence de la position des volets de coupure :**

La coupure influe aussi bien sur la séparation des minéraux que sur les rendement-poids. une coupure élevée laisse passer le minerai dans le stérile, une coupure basse permet le passage de grains faiblement magnétique ou stérile dans le concentré; ceci nous oblige à faire très attention à la position des volets de coupure.

### **IX e La forme du corps induit :**

Elle influe beaucoup sur le champ dans l'entrefer. sur notre séparateur, on ne dispose que d'une seule forme de pièce polaire.

# **X ESSAIS DE SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE INTENSITE DU MINERAL DE DJEBEL ONK**

## **X 1 Minerai, matériel et méthode de travail**

### **X 1 a Origine du minerai**

Le minerai est de type beige extrait à partir de la mine de phosphate de Djebel Onk .

### **X 1 b Préparation du minerai**

Le minerai a été concassé en premier lieu, puis broyé, et dans les deux cas à sec.

① 1 Le concassage : Le minerai utilisé était préalablement concassé à -5 mm au niveau de la société EREM à BOUMERDES.

② 2 Le broyage : Le broyage a été effectué à l'aide d'un broyeur à disques jusqu'à la classe -1mm en contrôlant avec un crible.

③ 3 Le quartage : Après le concassage et le broyage du tout-venant, la masse traitée est divisée à plusieurs échantillons à l'aide d'un Jones riffle; cela nous a permis d'avoir de échantillons représentatifs et identiques mais avec une légère différence en poids.

### **X 1 c Matériel utilisé**

Le matériel utilise c'est le séparateur magnétique CARPCO décrit précédemment.

### **X 1 d Méthode de travail**

Les paramètres principaux caractérisant le séparateur sont l'intensité, la vitesse et l'angle. Notre méthode de travail consiste à fixer à chaque fois deux paramètres et faire varier le troisième .

Cela s'est réalisé de la manière suivante:

1 - On fixe les angles de volets de coupure; (dans nos expériences on a choisis deux positions différentes pour les volets ( A ) et ( B ));

2 - On fixe l'intensité du courant i;

3 - En variant la vitesse de rotation du rotor à partir de la graduation 10 jusqu'à 120 en passant par les graduation : 10; 30; 50; 70; 95; 120. Et pour chacune de ces dernières on obtient trois fractions différentes.

4 - On garde la même position du volet de coupure, et on fixe une autre valeur de l'intensité i , tel que les valeurs prises sont 0.5A; 1A; 1.5A; 2A; 2.5A.

5 - Après l'achèvement de la vitesse en fonction de l'intensité, on donne au volet de coupure l'autre position et qui sera ( B ).

Donc de cela on va traiter 60 échantillons.

En se référant au tableaux (tab:  $\Gamma$  ) et (tab:  $\Pi$  ),et qui donnent l'analyse chimique du brut, et de l'analyse chimique par tranche granulométrique de l'échantillon à étudier, avant traitement thermique et sans attrition; on a basé notre choix des cribles après la séparation magnétique, et qui seront 1mm; 0.8mm; 0.5mm; 0.4mm; 0.3mm.

TABLEAU I  
Analyses chimiques du brut (extrait carrière).

Eléments	Echantillon brut tout-vénant	Tranches granulométriques caractéristiques		
		> 100 $\mu$ m	100-40 $\mu$ m	< 40 $\mu$ m
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	26,48	29,49	20,58	13,52
CaO .....	46,04	48,87	42,21	29,92
MgO .....	3,58	1,92	7,83	7,81
SiO <sub>2</sub> .....	4,09	1,87	3,45	18,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,89	0,30	0,64	4,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t.....	0,57	0,31	0,49	2,03

TABLEAU II  
Analyses chimiques par tranche granulométrique de l'échantillon étudié, avant traitement thermique (sans attrition).

Tranches granulométriques ( $\mu$ m)	Eléments					
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t
2 000 .....	14,06	39,46	14,72	3,31	0,78	0,33
1 000 .....	26,79	47,11	3,98	1,87	0,42	0,30
630 .....	30,60	49,81	1,94	1,45	0,33	0,29
450 .....	30,72	49,87	2,01	1,34	0,40	0,33
250 .....	28,47	48,06	2,95	1,63	0,44	0,35
125 .....	27,07	47,72	3,93	1,88	0,43	0,26
100 .....	26,38	46,91	4,89	1,82	0,47	0,23
80 .....	19,86	42,37	8,51	1,97	0,49	0,32
63 .....	10,9	37,34	13,56	2,06	0,53	0,29
40 .....	9,03	34,98	15,02	2,12	0,74	0,38
< 40 .....	8,91	32,00	15,49	15,49	3,91	1,72

## X 1 les resultats experimentaux

Après avoir achever les experiences de separation magnetique on a tamisé toutes les fractions recuperées ( fraction 1 , fraction 2, fraction 3 ) ,de chaque essai.

les resultats des analyses de tamisage sont presentés sur les tableaux suivants tel que A et B representent les differentes position des volets de coupure, le premier numero veut dir l'ampereage corespondant ,et le deuxieme c'est la vitesse corespondante

( A tab 1 1 corespond à la position A, 0.5 Ampers , et la graduation 10 de la vitesse ).

donc pour le premier

corespond

1	0.5 Amper
2	1
3	1.5
4	2
5	2.5

pour le second

1	10 graduation
2	30
3	50
4	70
5	95
6	120



CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	1,8	4,65
(-0,80 +0,50)			1,1	1,24	16,2	41,86
(-0,5 +0,1)			6,2	6,97	13,8	35,66
(-0,1 +0,08)			47,2	53,1	6,2	16,02
( -0,08 )			34,4	38,7	0,7	1,81
<b>POIDS TOTAL</b>	0,86		88,90		38,70	

A TAB 1.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,8	1,52
(-0,80 +0,50)					19,3	16,31
(-0,5 +0,1)					18,2	15,38
(-0,1 +0,08)					52,4	44,29
( -0,08 )					26,6	22,49
<b>POIDS TOTAL</b>	4,91		3,59		118,3	

A TAB 1.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,9	1,58
(-0,80 +0,50)					18,6	15,45
(-0,5 +0,1)					19,5	16,2
(-0,1 +0,08)					50,9	42,28
( -0,08 )					29,5	24,5
<b>POIDS TOTAL</b>	0,4		5		120,4	

A TAB 1.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	2	1,63
(-0,80 +0,50)			0	0	17,9	14,6
(-0,5 +0,1)			0,7	10,61	18,6	15,17
(-0,1 +0,08)			1,4	21,21	53,6	43,72
( -0,08 )			4,5	68,18	30,5	24,88
<b>POIDS TOTAL</b>	0,69		6,6		122,6	

ATAB 4-4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,6	1,41
(-0,80 +0,50)					17	14,93
(-0,5 +0,1)					16,5	14,49
(-0,1 +0,08)					49,6	43,55
( -0,08 )					29,2	25,64
<b>POIDS TOTAL</b>	0,91		5,84		113,9	

ATAB 4-5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,3	1,1
(-0,80 +0,50)					18,4	15,61
(-0,5 +0,1)					18,2	15,44
(-0,1 +0,08)					52	44,11
( -0,08 )					28	23,75
<b>POIDS TOTAL</b>	1,2		6,34		117,9	

ATAB 4-6

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	2,2	5,05
(-0,80 +0,50)			0,6	0,73	18,5	42,53
(-0,5 +0,1)			5,1	6,17	12,9	29,66
(-0,1 +0,08)			42,7	51,63	9	20,69
( -0,08 )			34,3	41,48	0,9	2,07
<b>POIDS TOTAL</b>	1,27		82,7		43,5	

A TAB 2.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2,3	1,9
(-0,80 +0,50)					19,4	16,05
(-0,5 +0,1)					21,9	18,11
(-0,1 +0,08)					52,6	43,51
( -0,08 )					24,7	20,43
<b>POIDS TOTAL</b>	5,85		2,6		120,9	

A TAB 2.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2	1,54
(-0,80 +0,50)					19,6	15,11
(-0,5 +0,1)					19,5	42,21
(-0,1 +0,08)					54,8	26,06
( -0,08 )					33,8	
<b>POIDS TOTAL</b>	0,56		2,86		129,7	

A TAB 2.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,7	1,42
(-0,80 +0,50)					18,8	15,68
(-0,5 +0,1)					16,9	14,1
(-0,1 +0,08)					50,6	42,2
( -0,08 )					31,9	26,61
<b>POIDS TOTAL</b>	0,52		3,83		119,9	

A TAB 2.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,8	1,5
(-0,80 +0,50)					18,9	15,75
(-0,5 +0,1)					17,9	14,92
(-0,1 +0,08)					50,4	42
( -0,08 )					31	25,83
<b>POIDS TOTAL</b>	0,88		5,4		120	

A TAB 2.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2,4	1,99
(-0,80 +0,50)					19	15,77
(-0,5 +0,1)					17,9	14,85
(-0,1 +0,08)					51,9	43,07
( -0,08 )					29,3	24,32
<b>POIDS TOTAL</b>	1,3		6,4		120,5	

A TAB 2.6

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	2	3,51
(-0,80 +0,50)			0	0	19	33,69
(-0,5 +0,1)			0,9	1,6	17,4	30,85
(-0,1 +0,08)			26,2	46,45	25,8	45,74
( -0,08 )			29,3	51,95	3,2	5,67
<b>POIDS TOTAL</b>	2,41		56,4		67,4	

*A TAB 3.1*

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2,2	1,75
(-0,80 +0,50)					20,3	16,18
(-0,5 +0,1)					18,6	14,82
(-0,1 +0,08)					57,1	45,5
( -0,08 )					27,3	21,75
<b>POIDS TOTAL</b>	7,89		3,28		125,5	

*ATAB 3.2*

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2,2	1,78
(-0,80 +0,50)					19,7	15,96
(-0,5 +0,1)					19,2	15,56
(-0,1 +0,08)					52,1	42,22
( -0,08 )					30,2	24,47
<b>POIDS TOTAL</b>	0,92		7,32		123,4	

*A TAB 3.3*

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2	1,73
(-0,80 +0,50)					17,7	15,3
(-0,5 +0,1)					17,8	15,38
(-0,1 +0,08)					49,5	42,78
( -0,08 )					28,7	24,81
<b>POIDS TOTAL</b>	0,8		8,21		115,7	

ATAB 3.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,9	1,59
(-0,80 +0,50)					18,7	15,61
(-0,5 +0,1)					18	15,03
(-0,1 +0,08)					51,6	43,07
( -0,08 )					29,6	24,71
<b>POIDS TOTAL</b>	0,76		8,3		119,8	

ATAB 3.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2,1	1,74
(-0,80 +0,50)					18,6	15,4
(-0,5 +0,1)					18,2	15,07
(-0,1 +0,08)					52	43,05
( -0,08 )					29,9	24,75
<b>POIDS TOTAL</b>	1		9,85		120,8	

ATAB 3.6

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,4	0,41	1,8	7,38
(-0,80 +0,50)			4,6	4,71	12,3	50,41
(-0,5 +0,1)			10,9	11,17	8	32,79
(-0,1 +0,08)			49,6	50,82	2	8,2
( -0,08 )			32,1	32,89	0,3	1,23
<b>POIDS TOTAL</b>	3,75		97,6		24,4	

ATAB 4.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	1,7	1,86
(-0,80 +0,50)			0,1	0,47	18,5	20,26
(-0,5 +0,1)			0,4	1,9	17,3	18,95
(-0,1 +0,08)			5	23,7	44,3	48,52
( -0,08 )			15,6	73,93	9,5	10,41
<b>POIDS TOTAL</b>	6,23		21,1		91,3	

ATAB 4.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2	1,65
(-0,80 +0,50)					19,1	15,72
(-0,5 +0,1)					18,1	14,9
(-0,1 +0,08)					52,8	43,46
( -0,08 )					29,5	24,28
<b>POIDS TOTAL</b>	1,45		4,55		121,5	

ATAB 4.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,7	1,39
(-0,80 +0,50)					20	16,38
(-0,5 +0,1)					18,5	15,15
(-0,1 +0,08)					54,1	44,31
( -0,08 )					27,8	22,77
<b>POIDS TOTAL</b>	0,78		7,9		122,1	

*ATAB 4.4*

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	1,7	1,46
(-0,80 +0,50)			0,8	8,16	18,4	15,8
(-0,5 +0,1)			0,4	4,08	17,4	14,93
(-0,1 +0,08)			2	20,41	51,7	44,38
( -0,08 )			6,6	67,35	27,3	23,43
<b>POIDS TOTAL</b>	0,86		9,8		116,5	

*ATAB 4.5*

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	2,2	2
(-0,80 +0,50)			0,8	7,34	17,7	16,16
(-0,5 +0,1)			0,5	4,59	15,8	14,43
(-0,1 +0,08)			2	18,35	49	44,75
( -0,08 )			7,6	69,72	24,8	22,65
<b>POIDS TOTAL</b>	1,02		10,9		109,24	

*ATAB 4.6*



CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)	0	0	0	0	2	2,74
(-0,80 +0,50)	0	0	0,1	0,27	17,3	23,8
(-0,5 +0,1)	0	0	0,6	1,59	16,9	23,25
(-0,1 +0,08)	0,8	9,52	15,3	40,91	32,7	44,98
( -0,08 )	7,6	90,48	21,4	57,23	3,8	5,23
<b>POIDS TOTAL</b>	8,78				72,7	

A TAB 5.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	2,2	2,09
(-0,80 +0,50)			0	0	18,4	17,44
(-0,5 +0,1)			0,2	1,96	18,3	17,35
(-0,1 +0,08)			2,8	27,45	49,8	47,2
( -0,08 )			7,2	70,59	16,8	15,92
<b>POIDS TOTAL</b>	10		10,2		105,5	

A TAB 5.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,8	1,57
(-0,80 +0,50)					18,6	16,2
(-0,5 +0,1)					17,4	15,16
(-0,1 +0,08)					51,4	44,77
( -0,08 )					25,6	22,3
<b>POIDS TOTAL</b>	4,88		7		114,8	

A TAB 5.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,9	1,54
(-0,80 +0,50)					19	15,47
(-0,5 +0,1)					17,6	14,33
(-0,1 +0,08)					54,4	44,3
( -0,08 )					29,9	24,35
<b>POIDS TOTAL</b>	0,71		9,03		122,8	

ATAB 5.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					2	1,77
(-0,80 +0,50)					17,5	15,47
(-0,5 +0,1)					17,1	15,12
(-0,1 +0,08)					51,4	45,45
( -0,08 )					25,1	22,19
<b>POIDS TOTAL</b>	0,66		6,15		113,1	

ATAB 5.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)					1,8	1,46
(-0,80 +0,50)					17,1	13,93
(-0,5 +0,1)					18,8	15,31
(-0,1 +0,08)					51,1	41,61
( -0,08 )					27,8	22,64
<b>POIDS TOTAL</b>	0,71		6,93		116,6	

ATAB 5.6

position B

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)	0	0	0,7	0,75	2	16,81
(-0,80 +0,50)	0	0	9,8	10,09	7,7	64,7
(-0,5 +0,1)	0	0	16	16,45	2,2	18,49
(-0,1 +0,08)	1,3	9,85	51,2	52,73	0	0
( -0,08 )	11,9	90,15	19,4	19,98	0	0
<b>POIDS TOTAL</b>	13,2		97,1		11,9	

B TAB 1.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	2,3	2,24
(-0,80 +0,50)			0,2	1,21	18,6	18,09
(-0,5 +0,1)			0,1	0,61	18,1	17,61
(-0,1 +0,08)			4,2	25,45	49,3	47,96
( -0,08 )			12	72,73	14,5	14,1
<b>POIDS TOTAL</b>	4,86		16,5		102,8	

B TAB 1.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	1,7	1,51
(-0,80 +0,50)			0,5	5,27	16,4	14,67
(-0,5 +0,1)			0,2	2,1	17,7	15,83
(-0,1 +0,08)			2,9	30,53	50,3	45
( -0,08 )			5,9	62,1	25,7	22,99
<b>POIDS TOTAL</b>	1,99		9,5		111,8	

B TAB 1.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,64	2,1	2,04
(-0,80 +0,50)			0,9	5,66	17,2	16,71
(-0,5 +0,1)			0,8	5,03	16,3	15,84
(-0,1 +0,08)			5,1	32,07	47,3	45,97
( -0,08 )			9	56,6	20	19,44
<b>POIDS TOTAL</b>	3,71		15,9		102,9	

B TAB 1.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,77	1,7	1,59
(-0,80 +0,50)			1	7,63	16,8	15,57
(-0,5 +0,1)			0,9	6,87	17	15,75
(-0,1 +0,08)			3,9	29,77	48,3	44,76
( -0,08 )			7,2	54,96	24,1	22,33
<b>POIDS TOTAL</b>	2,65		13,1		107,9	

B TAB 1.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,66	1,5	1,47
(-0,80 +0,50)			1,1	7,19	16,1	15,66
(-0,5 +0,1)			1,2	7,84	16,4	15,95
(-0,1 +0,08)			4	26,14	47,9	46,59
( -0,08 )			8,9	58,17	20,9	20,33
<b>POIDS TOTAL</b>	4,65		15,48		103,13	

B TAB 1.6

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)	0	0	0,9	1,19	1,3	10,57
(-0,80 +0,50)	0	0	10,4	13,7	7,3	59,35
(-0,5 +0,1)	0,3	0,84	14,8	19,5	2,8	22,76
(-0,1 +0,08)	13,3	37,15	42	55,33	0,6	4,88
( -0,08 )	22,2	62,01	7,8	10,28	0,3	2,44
<b>POIDS TOTAL</b>	35,8		75,9		12,3	

B TAB 2.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)	0	0	0	0	2,1	2,12
(-0,80 +0,50)	0	0	0,2	1,08	19,1	19,23
(-0,5 +0,1)	0	0	0,3	1,61	17,8	17,92
(-0,1 +0,08)	0,5	4,39	7,3	39,25	48,1	48,44
( -0,08 )	10,9	95,61	10,8	58,06	12,2	12,29
<b>POIDS TOTAL</b>	11,4		18,6		99,3	

B TAB 2.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,42	2,1	2,12
(-0,80 +0,50)			0,6	2,49	17,4	17,59
(-0,5 +0,1)			0,6	2,49	16,9	17,09
(-0,1 +0,08)			9	37,34	47,8	48,33
( -0,08 )			13,8	57,26	14,7	14,87
<b>POIDS TOTAL</b>	4,46		24,1		98,9	

B TAB 2.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,2	1,11	2,2	2,12
(-0,80 +0,50)			0,8	4,44	18	17,27
(-0,5 +0,1)			0,7	3,88	17	16,31
(-0,1 +0,08)			5,7	31,66	48,9	46,93
( -0,08 )			10,6	5,89	18,1	17,37
<b>POIDS TOTAL</b>	3,87		18		104,2	

B TAB 2.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,2	1,31	1,7	1,61
(-0,80 +0,50)			1	6,49	17,2	16,29
(-0,5 +0,1)			0,9	5,84	16,7	15,81
(-0,1 +0,08)			4,8	3,17	49,1	46,5
( -0,08 )			8,5	55,19	20,9	19,79
<b>POIDS TOTAL</b>	4		15,4		105,6	

B TAB 2.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,2	1,1	1,7	1,72
(-0,80 +0,50)			1,3	7,14	16,3	16,57
(-0,5 +0,1)			1,1	6,04	16,5	16,77
(-0,1 +0,08)			5,6	30,77	47,7	48,48
( -0,08 )			10	54,95	16,2	16,46
<b>POIDS TOTAL</b>	6,05		18,2		98,4	

B TAB 2.6

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)	0	0	0,7	0,95	1,4	10,14
(-0,80 +0,50)	0,1	0,28	8,8	11,94	8,3	60,14
(-0,5 +0,1)	0,3	0,85	14,1	19,13	3,3	23,91
(-0,1 +0,08)	12	33,99	41,7	56,58	0,7	5,07
( -0,08 )	22,9	64,87	8,4	11,4	0,1	0,72
<b>POIDS TOTAL</b>	35,3		73,7		13,8	

BTAB 3.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	1,9	2,12
(-0,80 +0,50)			0,4	1,94	17,1	19,11
(-0,5 +0,1)			0,4	1,95	16,8	18,77
(-0,1 +0,08)			7,8	37,86	44,7	49,94
( -0,08 )			12	58,25	9	10,06
<b>POIDS TOTAL</b>	9,12		20,6		89,5	

BTAB 3.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,49	1,9	1,85
(-0,80 +0,50)			0,5	2,43	18,5	18,05
(-0,5 +0,1)			0,6	2,91	18,3	17,85
(-0,1 +0,08)			7,7	37,38	45,6	44,49
( -0,08 )			11,7	56,8	18,2	17,76
<b>POIDS TOTAL</b>	2,22		20,6		102,5	

BTAB 3.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,2	1,26	2,3	2,15
(-0,80 +0,50)			0,8	5,06	17,3	16,14
(-0,5 +0,1)			0,7	4,43	17,2	16,04
(-0,1 +0,08)			4,7	29,75	47,7	44,5
( -0,08 )			9,4	59,49	22,7	21,18
<b>POIDS TOTAL</b>	24		15,8		107,2	

BTAB 3.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,2	1,64	2	1,87
(-0,80 +0,50)			1,1	8,94	17,7	16,57
(-0,5 +0,1)			0,8	6,5	16,4	15,36
(-0,1 +0,08)			3,7	30,08	46,3	43,35
( -0,08 )			6,5	52,84	24,4	22,66
<b>POIDS TOTAL</b>	2,1		12,3		106,8	

BTAB 3.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,3	1,71	2,3	2,16
(-0,80 +0,50)			1,3	7,43	16,9	15,84
(-0,5 +0,1)			1,1	6,29	17,8	16,68
(-0,1 +0,08)			5,1	29,14	48,9	45,83
( -0,08 )			9,7	55,43	20,8	19,49
<b>POIDS TOTAL</b>	4,14		17,5		106,7	

BTAB 3.6



CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)	0	0	0,9	1,17	1,7	13,49
(-0,80 +0,50)	0,3	0,89	8,7	11,34	7,3	57,94
(-0,5 +0,1)	0,5	1,48	14,1	18,38	2,9	23,02
(-0,1 +0,08)	12,2	36,09	43,6	56,84	0,7	5,55
( -0,08 )	20,8	61,54	9,4	12,23	0	0
<b>POIDS TOTAL</b>	33,8		76,7		12,6	

BTAB 4.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,23	2,3	3,43
(-0,80 +0,50)			0,5	1,13	17,7	26,42
(-0,5 +0,1)			0,9	2,03	16	23,88
(-0,1 +0,08)			27,8	62,75	28,4	42,39
( -0,08 )			15	33,86	2,6	3,88
<b>POIDS TOTAL</b>	9,64		44,3		67	

BTAB 4.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	1,9	1,93
(-0,80 +0,50)			0,3	1,79	17,5	17,73
(-0,5 +0,1)			0,3	1,79	17	17,22
(-0,1 +0,08)			5,7	33,93	46,1	46,71
( -0,08 )			10,5	62,5	16,2	16,41
<b>POIDS TOTAL</b>	5,49		16,8		98,7	

BTAB 4.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,45	2	1,84
(-0,80 +0,50)			0,7	3,17	17,9	16,47
(-0,5 +0,1)			0,8	3,62	17,8	16,38
(-0,1 +0,08)			7,5	33,94	50,2	46,18
( -0,08 )			13	58,82	17,8	16,38
<b>POIDS TOTAL</b>	5,65		22,1		105,7	

BTAB 4.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,2	0,78	2	1,99
(-0,80 +0,50)			1,4	5,43	17,4	17,31
(-0,5 +0,1)			1,3	5,04	17,6	17,51
(-0,1 +0,08)			8,5	32,95	46,4	46,17
( -0,08 )			14,4	55,8	17,1	17,02
<b>POIDS TOTAL</b>	4,83		25,8		100,5	

BTAB 4.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,53	2,2	2,14
(-0,80 +0,50)			1,1	5,85	16,9	16,44
(-0,5 +0,1)			0,9	4,79	17	16,54
(-0,1 +0,08)			5,4	28,72	49,6	48,25
( -0,08 )			11,3	60,11	17,1	16,63
<b>POIDS TOTAL</b>	5,43		18,8		102,8	

BTAB 4.6

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)	0	0	0,1	0,17	2,7	5,06
(-0,80 +0,50)	0	0	0,6	1,02	17,3	32,4
(-0,5 +0,1)	0,3	1,85	1,2	2,04	14,7	27,53
(-0,1 +0,08)	2,1	12,96	36,4	61,8	18,5	34,64
( -0,08 )	13,8	85,19	20,6	34,97	0,2	0,37
<b>POIDS TOTAL</b>	16,2		58,9		53,4	

BTAB 5.1

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	1,6	2,16
(-0,80 +0,50)			0,1	0,28	17	22,94
(-0,5 +0,1)			0,6	1,71	16,7	22,54
(-0,1 +0,08)			22,1	62,78	34,6	46,69
( -0,08 )			12,4	35,23	4,2	5,67
<b>POIDS TOTAL</b>	13,73		35,2		74,1	

BTAB 5.2

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0	0	2,8	2,69
(-0,80 +0,50)			0,3	1,72	18,8	18,06
(-0,5 +0,1)			0,3	1,72	18,5	17,77
(-0,1 +0,08)			6,3	36,21	48,8	46,88
( -0,08 )			10,5	60,35	15,2	14,6
<b>POIDS TOTAL</b>	7,33		17,4		104,1	

BTAB 5.3

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS		POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,2	0,84	2,3	2,24
(-0,80 +0,50)			0,7	2,94	18,6	18,09
(-0,5 +0,1)			0,8	3,36	17,6	17,12
(-0,1 +0,08)			8,3	34,87	47,7	46,4
( -0,08 )			13,8	57,99	16,6	16,15
<b>POIDS TOTAL</b>	5,5		23,8		102,8	

BTAB 5.4

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,1	0,43	2,2	2,23
(-0,80 +0,50)			1	4,26	17,3	17,53
(-0,5 +0,1)			1	4,26	17,3	17,53
(-0,1 +0,08)			7,4	31,49	46	46,61
( -0,08 )			14	59,56	15,9	16,11
<b>POIDS TOTAL</b>	4,01		23,5		98,7	

BTAB 5.5

CLASSE GRANULOMETRIQUE	FRACTION 1		FRACTION 2		FRACTION 3	
	POIDS	%	POIDS	%	POIDS	%
	GRS		GRS		GRS	
(-1 +0,80)			0,3	1,38	2	2,14
(-0,80 +0,50)			1,2	5,53	16	17,11
(-0,5 +0,1)			1	4,61	15,3	16,36
(-0,1 +0,08)			6,7	30,88	44,4	47,49
( -0,08 )			12,5	57,6	15,8	16,9
<b>POIDS TOTAL</b>	4,47		21,7		93,5	

BTAB 5.6

## LE DEVELOPPEMENT DES RESULTATS

D'après les résultats des tableau précédents et en se basant sur les analyses chimiques du brut, on a pu faire constituer de nouveaux tableaux qui montrent les variations de la quantité des particules fines dans les fraction 1 et la fraction 1+2, parce que on a remarqué que pour la fraction trois elle est très pauvre en particules fines .

notre développement a été comme suit :

pour chaque essai on a divisé les résultats du tamisage de chaque fraction en deux : les classes supérieures à  $100\mu$  et les classes inférieures à  $100\mu$

Ensuit on fait la somme masse de chaque partie ( colonne 4 total (grs)) puis pour la deuxième colonne on calcule le pourcentage des particules fines contenues dans la fraction 1 par rapport au cumulé des fines .

pour la troisième colonne on calcule le pourcentage des fines dans les fraction 1+ 2 par rapport au cumulé . Et de même pour la fraction des particules non fines . Les tableaux développés ont le même ordre que les précédentes .

Et à la base de ces derniers tableaux on a tracé les courbes qui montrent les variation des pourcentages en fonction de la vitesse de rotation du rotor

tel que la série 1 le pourcentage des fines dans la fraction 1

← la série 2 le pourcentage de la somme des fines dans les deux fractions 1+2

Et pour un bon choix de non paramètres, on a donné les résultats au programme établi pour ça ( le programme de l'annexe).

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	18.67	
<100 $\mu$	0.96	92.27	89.36

A tab 1

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	5.53	9.08	87.7

A tab 2

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	0.47	6.29	85.8

A tab 3

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	1.79	
<100 $\mu$	0.70	7.27	90.69

A tab 4

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0		
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	1.06	7.88	85.55

A tab5

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	1.37	8.61	87.54

A tab6

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	14.50	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	1.44	88.77	88.17

A tab7

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	6.82	18.6	85.75

A tab8

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	0.61	3.71	92.02

A tab9

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	0.59	5.0	86.85

A tab 10

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	1.0	7.16	87.68

A tab 11

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	1.46	8.66	88.9

A tab 12



	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	2.29	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	2.77	69.4	86.91

A tab 13

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	8.26	11.69	95.57

A tab 14

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	1.02	9.1	90.54

A tab 15

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	0.92	10.33	87.21

A tab 16

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	0.84	10.04	90.26

A tab 17

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	1.08	11.70	92.75

A tab 18

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	41.84	38.0
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	4.27	97.38	87.75

A tab 19

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	1.32	38
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	7.73	33.28	80.63

A tab 20

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	1.64	13.56	88.3

A tab 21

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	0.86	9.58	90.58

A tab 22

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	3.1	
<100 $\mu$	0.97	10.69	88.46

A tab 23

	fraction 1(%)	fraction 1+2 (%)	total (grs)
>100 $\mu$	0	25.95	37
<100 $\mu$	1.20	12.58	84.42

A tab 24

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	1.90	36.9
<100 $\mu$	10.29	67.65	81.6

A tab 25

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	0.5	39.1
<100 $\mu$	9.56	40.3	86.6

A tab 26

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	5.49	13.37	88.88

A tab 27

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	0	
<100 $\mu$	0.75	10.36	94.04

A tab 28

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	0.79	8.17	83.31

A tab 29

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	0.82	8.0	86.54

A tab 30

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	69.01	38.4
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	15.75	100	83.8

B tab 1

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	0.76	
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	5.73	48	84.86

B tab 2

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	1.92	36.5
<100 $\mu$	2.29	27.9	86.79

B tab 3

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	4.81	
<100 $\mu$	4.36	20.93	85.11

B tab 4

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	5.33	37.5
<100 $\mu$	3.08	15.96	86.15

B tab 5

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	6.59	36.4
<100 $\mu$	5.39	14.6	86.35

B tab 6

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	5.57	37.7
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	4.58	17.85	87.3

B tab 11

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	7.00	37.1
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	7.07	17.56	85.55

B tab 12

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	1.08	64.86	37
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	40.67	99.07	85.8

B tab 13

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	2.19	36.6
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	11.04	42.6	82.62

B tab 14

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	3.0	39.9
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	2.60	25.31	85.42

B tab 15

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	4.42	38.5
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	2.76	18.99	86.9

B tab 16

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	5.5	38.2
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	2.53	14.82	83.00

B tab 17

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	6.8	39.7
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	2.85	12.75	88.64

B tab 18



	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	2.2	67.31	36.4
<100 $\mu$	38.06	99.42	86.7

B tab 19

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	4.0	37.5
<100 $\mu$	11.5	62.85	83.44

B tab 20

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	1.62	37
<100 $\mu$	6.54	32.6	83.99

B tab 21

	<b>fraction 1 (%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
>100 $\mu$	0	4.07	39.3
<100 $\mu$	6.0	27.77	94.15

B tab 22

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	7.27	39.9
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	5.29	30.07	91.23

B tab 23

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	5.50	38.2
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	6.11	24.91	88.83

B tab 24

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0.81	5.96	36.9
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	2.29	79.59	91.6

B tab 25

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	1.94	36
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	6.7	55.42	87.03

B tab 26

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	1.47	40.7
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	8.32	35.6	88.13

B tab 27

	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	4.23	40.2
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	5.98	30.03	91.9

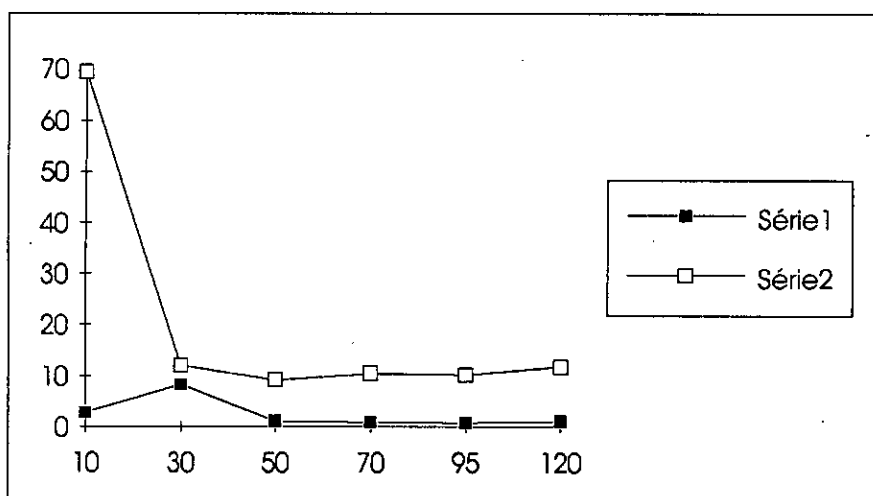
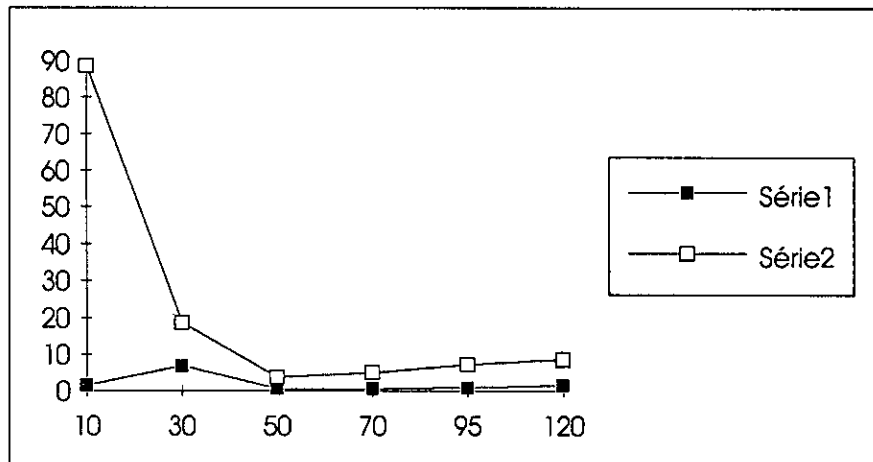
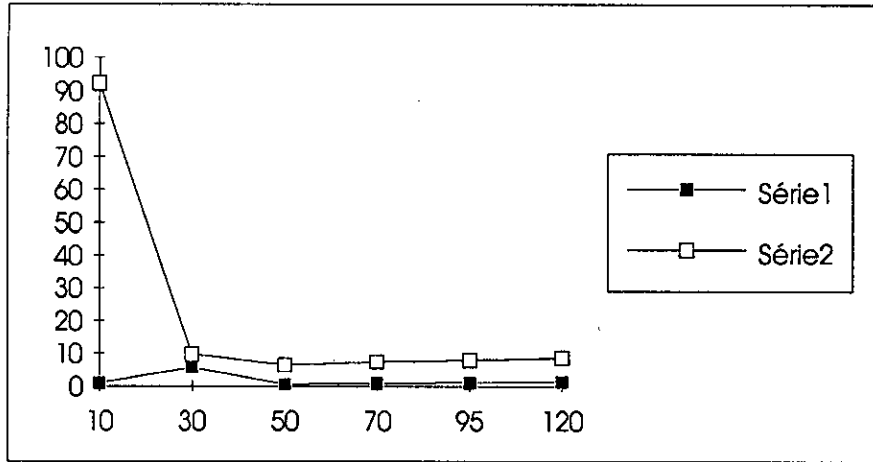
B tab 28

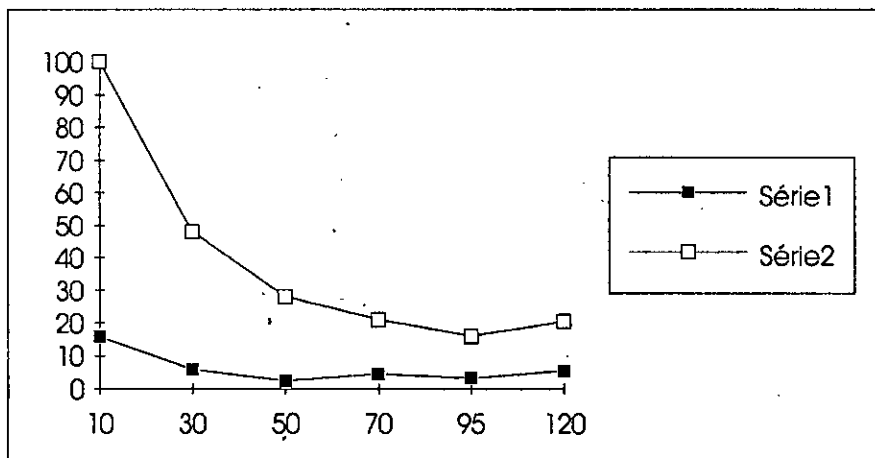
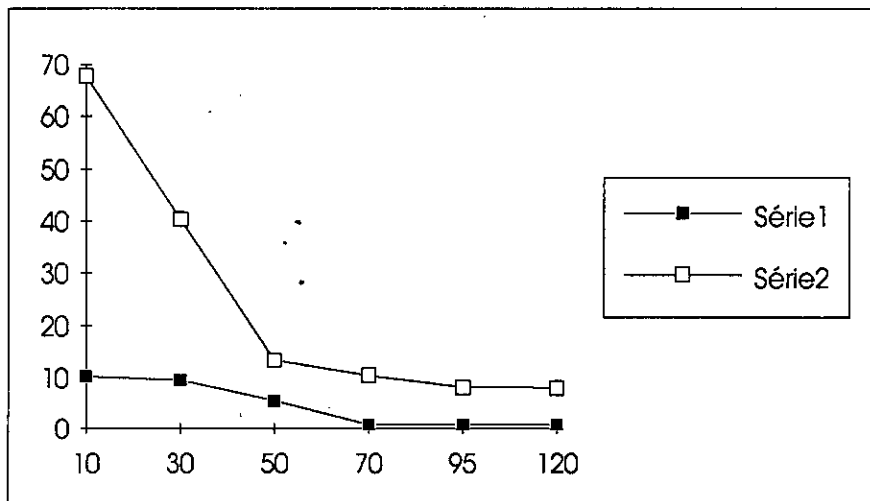
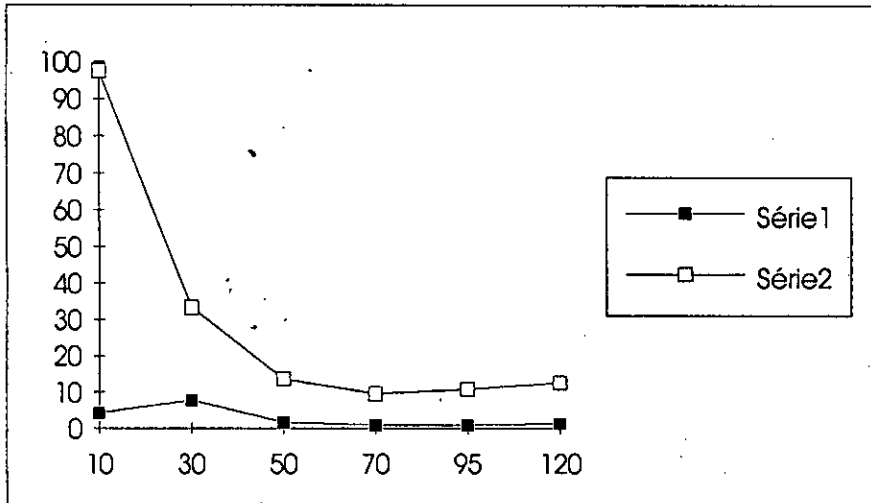
	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	5.40	38.9
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	4.59	29.10	87.31

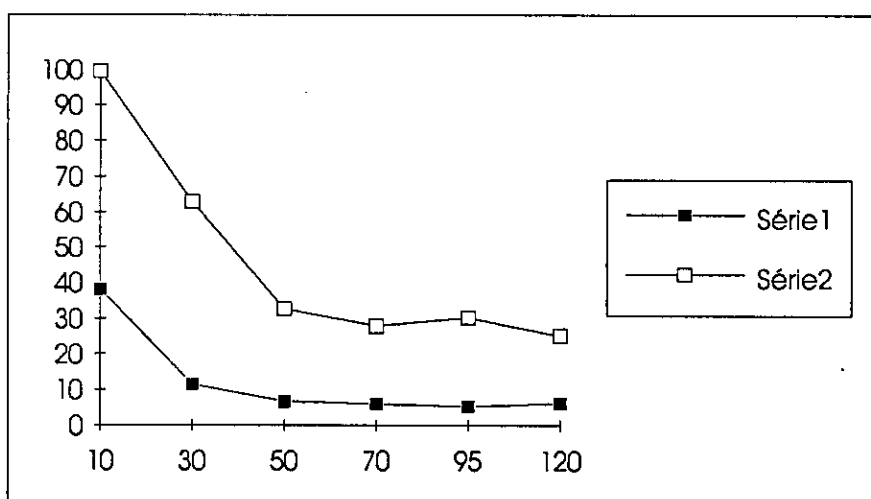
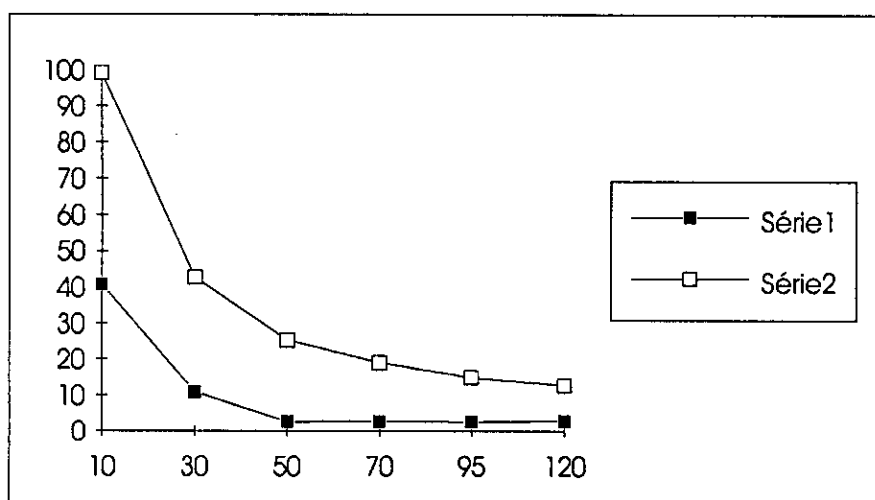
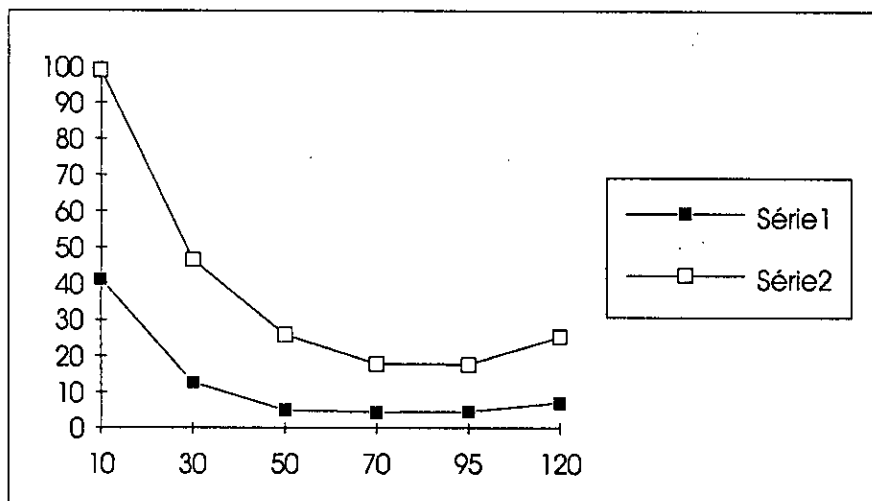
B tab 29

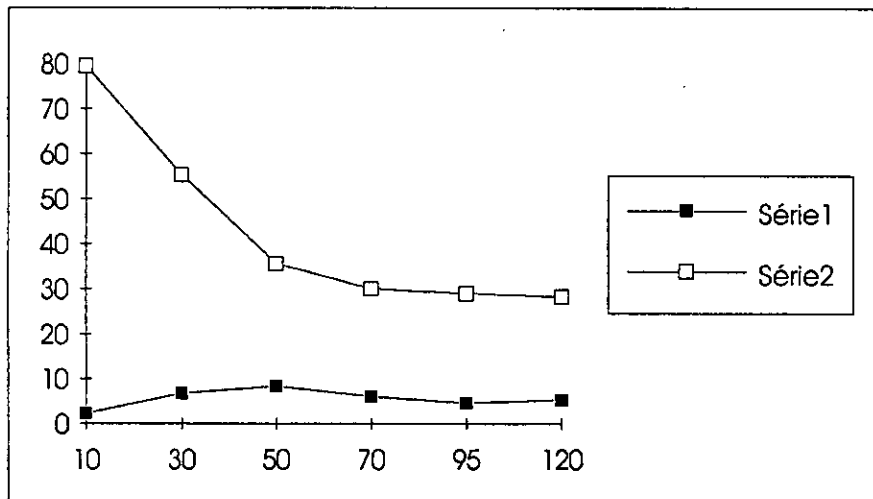
	<b>fraction 1(%)</b>	<b>fraction 1+2 (%)</b>	<b>total (grs)</b>
<b>&gt;100 <math>\mu</math></b>	0	6.98	35.8
<b>&lt;100 <math>\mu</math></b>	5.32	28.22	83.87

B tab 30









## XI CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Ce mémoire décrit la possibilité d'enrichissement du phosphate algérien par la

méthode magnétique.

L'analyse minéralogique nous a indiqué; que dans ce type de phosphate sédimentaire, les impuretés sont très disséminées dans la roche, laissant une petite possibilité pour la séparation par classe ( processus physique ), ce qui veut dire qu'un concentré de qualité supérieure ne peut être possible par cette méthode.

Pour achever une libration complète, un broyage <sup>non</sup> ~~ineconomique~~ est demandé

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette séparation :

- Les meilleurs résultats sont achevés, à la graduation 10 de la vitesse cependant pour chaque tableau un programme de calcul ou modèle mathématique nous permettra de sélectionner les meilleures teneurs et les rendements suivant la formule

$$P_2O_5_{\text{moy}} = \sum (P_2O_5)_i \cdot P_i / \sum P_i$$

tel que

$(P_2O_5)_i$  : teneur en  $P_2O_5$  de la classe de grosseur  $i$ ;

$P_i$  : rendement poids de la classe de grosseur  $i$ .

- Qu'il est possible d'utiliser deux stades de séparation, les tableaux (B tab 8), (Btab14) et (B tab 26) qui correspondent respectivement à la position B des volets de coupure 1 Ampère la graduation 30 de la vitesse, 1.5 Ampères la graduation 30 de la vitesse, 2.5 Ampères la graduation 30 car la classe supérieure à  $100 \mu$  est presque nulle (rendement moyen) afin d'améliorer les rendements et d'augmenter la teneur (avec ou sans concassage intermédiaire).



## ***XII CONCLUSION GÉNÉRALE***

Cette étude nous a donné des résultats similaires à la séparation électrique , le choix de tel ou tel séparateur, dépend des possibilités à l'échelle industrielle en tenant compte des facteurs tels l'humidité, et le coût du séparateur.

Vu les problèmes rencontrés par FERPHOS liés au colmatage des fines sur les cribles; il serait intéressant d'introduire à titre d'essai (une usine pilote utilisant des séparateurs magnétiques) , afin d'obtenir et d'observer les résultats ainsi de les comparer avec la solution actuelle.

# **BIBLIOGRAPHIE**

- (1) (X) REVUE  
[ BULTIN DE COOPERANTS ]  
1973
- (2) (X) REVUE  
[ INDUSTRIE MINERALE ]  
JUN 1988
- (3) Pierre Blazy et Yves Champeter  
[ LES PHOSPHATES MINERAUX, GEOLOGIE, EXPLOITATION, VALORISATION ]
- (4) (X) REVUE  
[ INDUSTRIE MINERALE ]  
DECEMBRE 1983
- (5) Malek Ould hamou (THESE)  
[ BENEFICATION OF ALGERIAN PHOSPHATE TAILINGS BY ELECTROSTATIC  
METHODS ]  
UK 1990
- (6) CARTA, M., FERRARA G.F.  
[ CONTRIBUTION TO THE ELECTROSTATIC SEPARATION ON MINERALS ]
- (7) DIAGNOSTIC DU SECTEUR MINIER (UNESCO)  
[ PHOSPHATE, PIERRE PRECIEUSE, POTASSE ]  
JANVIER 1990
- (8) Wills, B.A  
[ MINERAL PROCESSING TECHNOLOGY ]
- (9) [ ENCYCLOPEDIE LAROUSSE ]  
EDITION 1973
- (10) P. BLAZY  
[ VALORISATION DES MINERAIS, MANUEL DE MINERALOGIE ]
- (11) A. Bullet  
[ CONTRIBUTION AL'ETUDE DE LA SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE  
INTENSITE ET DE SON APPLICATION A L'ENRICHISSEMENT DU MINERAI DE FER  
LORRAIN ]
- (12) KECIRA (THESE)  
[ TRAITEMENT DU MINERAI DE FER BARYTIQUE DE BOUKHADRA PAR LA  
METHODE MAGNETIQUE ]  
JUN 1973

# ANNEXE

```
/*
 * ~~~~~
 * This program reads the tables and stores them in a file
 * called tables1-file
 * ~~~~~
 */

#include <stdio.h>

main()
{
FILE *fp;
int i, nbr_tab;
float x;

if(( fp = fopen("tables1-file", "w")) == NULL) {
    fprintf("input-tables1: Error with fopen\n");
    exit(1);
}

/* Read and print the number of tables */

printf(" Enter the number of tables: ");
scanf("%d", &nbr_tab);
fprintf(fp, "%d\n", nbr_tab);
printf("\n");

/* Read and print a, b, and f */
for(i=1; i<= nbr_tab; i++) {

    printf("\nEnter a for table %d : ", i);
    scanf("%f", &x);
    fprintf(fp, "%5.2f ", x);

    printf("\nEnter b for table %d : ", i);
    scanf("%f", &x);
    fprintf(fp, "%5.2f", x);

    printf("\nEnter f for table %d : ", i);
    scanf("%f", &x);
    fprintf(fp, "%5.2f\n ", x);

}

fclose(fp);
}
```

```

for(i=1; i<=table_size ; i++) {
    es = compute_es(tables[i].a, tables[i].b, tables[i].f) ;

    /* compare to the maximum value of E and updates records.*/
    if( es > value ) {
        value = es;
        table_nbr = i;
    }
}

}

/*
* ~~~~~
* Routine that displays results.
* ~~~~~
*/
display_es()
{

printf("\n      Computation of the Function E \n");
printf("\n");
printf(" Number of tables: %d \n", table_size);
printf(" Maximum E = %5.2f percent \n", value);
printf(" Table Number: %d \n", table_nbr);
printf(" Table = ( %5.2f, %5.2f, %5.2f )\n", tables[table_nbr].a,
    tables[table_nbr].b, tables[table_nbr].f);
printf("\n");
}

/* ~~~~~
* compute_es(a,b,f) computes the function E for a, b, f
* ~~~~~
*/
float compute_es(a,b,f)
float a,b,f;
{
float es;

/* If conditions for E to exist are satisfied, then return 0.0 */
if (f == 1) return(0.0);
if (f == 0) return(0.0);
if (a == b) return(0.0);

/* compute E */

es = ( b*(f-a)*(1-a)*(b-f) ) / ( f*(b-a)*(b-a)*(1-f) ) ;
return(es);
}

```

```

/*
 * Display the maximum , the table details.
 */

    display_es();

exit(0);
}

/*
 * ~~~~~
 * Routine that reads tables from the tables1-file and stores
 * them in the table structure.
 * ~~~~~
 */
read_tables()
{
FILE *fp;
int i;

    if ((fp = fopen("tables1-file", "r")) == NULL) {
        printf(" Computation: Error with the fopen\n");
        exit(1);
    }

    fscanf(fp,"%d", &table_size);

    for(i=1; i<= table_size; i++) {

        fscanf(fp,"%f", &tables[i].a);
        fscanf(fp,"%f", &tables[i].b);
        fscanf(fp,"%f", &tables[i].f);
    };

    fclose(fp);
}

/*
 * ~~~~~
 * Routine that does the main computation.
 * ~~~~~
 */
get_es()

{
int i;
float es;

    value = 0;
    table_nbr =0;

```

```
/*
 * ~~~~~
```

Program that computes and selects the efficiency (E) of separation, from a number of tables.

Data specifications:

Three variables: a,b and f. The variables stand for  
a: percentage of material above the cutpoint in the fine product.  
b: percentage of material above the cutpoint in the coarse product.  
f: percentage of material above the cutpoint in the feed.

b: coarse ; f : feed,  
a, b, and f are  $\leq 1$  (they are %)  
Each table consists of an instance of a, b and f.

- (1). Compute a function  $E = f(a,b,f)$  for a number of tables.
- (2). Print the maximum of all efficiencies computed.

```
* ~~~~~
*/
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#define MAX_TAB 100 /* maximum number of tables */
```

```
struct table { /* Table that contains coarse,
float a, /* fine and feed
float b, /*
float f;
};
```

```
float compute_es();
```

```
/* Global variables */
struct table tables[MAX_TAB];
int table_nbr, table_size;
float value;
```

```
/* ~~~~~ Main Program ~~~~~ */
```

```
main()
{
```

```
/* Read the tables for the tables-file */
```

```
read_tables();
```

```
/*
 * Compute the maximum of the Es computed
 */
```

```
get_es();
```