

6/95

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE
MINISTERE DELIGUE A L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT GENIE MINIER

PROJET DE FIN D'ETUDE

الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

En vue de l'obtention du diplome d'INGENIEUR D'ETAT en Genie Minier



VALORISATION DU MINERAL DE PHOSPHATE DE DJEBEL
ONK (TEBESSA) PAR LA METHODE ELECTROSTATIQUE.
« ETUDE COMPARATIVE »

PROPOSE PAR:
M: M. Ould Hamou

SUIVI PAR:
M: M. Ould Hamou

ETUDIE PAR:
M: M. Khorsi

SESSION: Juin -1995-

Dedicaces

Je dedie ce modeste travail à:

mes très chers parents.

Mes frères et sœurs.

mes amis, spécialement.

Samir, Amor et Mohamed.

et tous ceux qui me sont chers

Mohamed K. HORRO

Sommaire

Introduction	1
I- La partie théorique	3
I-1- Marché du phosphate.....	4
I-1-1- Généralités.....	4
I-1-2- Applications du phosphate.....	5
I-1-3- Production et commercialisation du phosphate dans le monde.....	5
I-1-4- Potentiel de production, commercialisation et prix du phosphate en Algérie.....	8
I-2- Procédés de traitement des phosphates.....	13
I-2-1- La calcination.....	13
I-2-2- Le lavage.....	14
I-2-3- Séchage et dépeussièreage (traitement à sec).....	14
I-2-4- La flottation.....	14
I-3- La méthode de séparation électrostatique des minerais, théorie et applications.....	17
I-3-1- Définition et principe.....	17
I-3-2- Les applications types de la séparation électrostatique.....	18
I-3-3- Types de séparateurs électrostatiques.....	18
I-4- Principe d'analyse granulométrique par tamisage.....	21
II- La partie expérimentale	23
II-1- Le phosphate de gisement de Djebel Onk.....	24
II-1-1- Les caractéristiques du gisement de Djebel Onk.....	24
II-1-2- Les caractéristiques du minerai de Djebel Onk.....	28
II-2- Essais de séparation électrostatique du phosphate du Djebel Onk.....	31
II-2-1- Méthode de travail.....	31
Conclusion	66

Introduction

Avec la demande croissante du phosphate dans les engrais et les autres industries, et la décroissance de la possibilité de trouver des minerais à haute teneur dans la plus part du monde, la valorisation des phosphates en pauvres teneurs et leurs rejets est nécessaire.

Il est très connu qu'une quantité considérable des réserves de phosphate est composé de minerais pauvres en matière utile et une gangue carbonatée dominante. Leur concentration demande en réalité des opérations très complexes.

La calcination est très réponde dans les industries phosphatées, la flottation est possible dans certaines circonstances. La séparation électrostatique est une nouvelle possibilité qui a besoin d'être bien développée dans le futur.

Les avantages évidents de ce potentiel non utilisé sont:

- Peut être utilisé sans le besoin d'eau, ce qui exclu les problèmes liés au manque d'eau et à l'organisation du système de recyclage de l'eau.
- En plus, cette méthode est applicable dans les pays sèches comme l'Algérie où l'eau est introuvable ou non réponde.

Les installations de traitement du phosphate dans le complexe minier de la région de Djebel Onk comprennent:

1. Une station de concassage, criblage primaire de 1200 t/h.
2. Une station de broyage, criblage de 3×250 t/h.
3. Deux ateliers de dépoussiérage pour la concentration du phosphate à sec de 2000 t/j.
4. Une chaîne de débouillage, calcination, lavage et séchage du phosphate de 2000 t/h.

La station de broyage-criblage comporte trois classes granulométriques. Au niveau de la classe (-400+300 microns) se trouve le problème de colmatage des grains phosphatés durant l'opération du criblage. Cela est due à l'humidité élevée que présente le minerai de phosphate, qui est de l'ordre de 3,3 %.

Le choix d'un nouveau procédé performant est intimement lié à la disponibilité de l'eau en abondance du fait que la région de Djebel Onk est une région semi-désertique. Actuellement le complexe minier de Djebel Onk déclare un manque d'eau considérable car le système d'alimentation en eau implanté dans la région, et comportant une station de pompage, un aqueduc de 90Km et un réservoir de stockage, ne satisfait pas les besoins en eau dans le procédé de lavage du produit calciné.

Alors dans ces conditions on ne peut pas appliquer la méthode de flottation pour traiter les fines du phosphate, au niveau de la classe (-0,4 +0,3 mm), dans cette région.

C'est dans ce cadre que se situe la présente étude, c'est à dire dans le but de choisir un procédé de traitement du phosphate, qui ne nécessite pas d'eau et qui peut résoudre le problème de colmatage des fines au niveau du criblage, par le remplacement de ce dernier.

En effet, ce présent travail a examiné la possibilité d'augmenter la teneur du phosphate en utilisant un séparateur électrostatique, et a étudié la possibilité d'utiliser ce séparateur électrostatique pour la séparation du minerai par classe ou grosseur « classement électrique » qui doit avoir des avantages sur le procédé non efficace du tamisage classique par tamis ou cyclone. Le besoin en électricité pour réaliser cette séparation dans le cas de Djebel Onk est assuré par la ligne d'alimentation en énergie électrique de 60kv, située dans la région de Djebel Onk.

Pour cela on a divisé notre travail comme suit:

I- Partie théorique:

I-1- Marché du phosphate.

I-2- Procédés de traitement des phosphates.

I-3- La méthode de séparation électrostatique des minerais, théorie et applications.

I-4- Principe d'analyse granulométrique par tamisage.

II- Partie expérimentale:

1- Le phosphate de Djebel Onk.

2- Essais de séparation.

3-Conclusion.

III-Conclusion générale.

I- LA PARTIE THEORIQUE

I-1- Marché des phosphates: [5], [13].

I-1-1- Généralités:

Le phosphate participe pour 0,13% à la composition de la croûte terrestre. Seul le phosphate blanc et le phosphate rouge ont une importance industrielle, notamment dans la fabrication des différents acides.

L'apatite est à l'origine de tous les dépôts de phosphate terrestre. Elle existe sous forme d'apatite fluorée et d'apatite chlorée. L'apatite fluorée, $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$, est la forme la plus courante. Elle se cristallise dans un système régulier et contient à l'état pur 42,26% de P_2O_5 et 3,8% de F.

Le phosphate a plusieurs caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques ...ect. Le tableau suivant donne les principales caractéristiques de l'apatite:

Tableau N°1: Les caractéristiques générales de l'apatite.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Couleur: blanc laiteux, bleuâtre, verdâtre, jaune, brun et gris.- Système: hexagonal.- Densité: 3,1 à 3,35.- Dureté: 4,5 à 5.- Constante diélectrique: 5,28.- Susceptibilité magnétique: $2,64 \times 10^{-6}$ C.G.S.E.M.- Composition chimique: %CaO=54%, %P_2O_5= 41%, %F= 0 à 4%, %Cl= 0 à 6%.- Réactions chimiques:<ul style="list-style-type: none">• 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. |
|---|

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 des substances organiques.

Exceptés quelques gisements exploités en galeries de mines, les phosphates brutes sont exploités généralement à ciel ouvert. 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 des minerais et de la machinerie (côté technique), les frais d'obtention du phosphate brut à la tonne diminuent.

I-1-2- Applications du phosphate:

La matière première est le phosphate tricalcique, $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$, naturel ou apatite. La presque totalité des phosphates produits dans le monde est consommée par l'agriculture dans la proportion de 90% environ, après avoir été transformée en superphosphates. Ils sont aussi utilisés à d'autres fins, notamment:

En métallurgie du fer, pour la fusion des minerais insuffisamment phosphoreux. En grande industrie chimique pour la fabrication de l'acide phosphorique, et pour la production du phosphore et de ses produits dérivés ...etc.

On peut admettre que les proportions d'emploi des phosphates minéraux consommés dans le monde sont approximativement celles indiquées ci-dessous:

- Dans la fabrication directe des engrais.....90 %
- Pour la production de l'acide phosphorique.....02 %
- En métallurgie.....04,8%.
- Pour la fabrication du phosphore et des divers produits chimiques.....03,2%.

100%.

I-1-3- Production et commercialisation du phosphate dans le monde:

a- La production:

La production et la consommation du phosphate sont intimement liées à l'évolution des besoins en engrais phosphatés dans l'agriculture et par conséquent à la production alimentaire. La production mondiale du phosphate a connu une forte croissance au cours des années 80, en passant de 139 Mt en 1980 à 165 Mt en 1988 puis elle a chuté à 150 Mt en 1991. Les taux de croissance cumulée entre 1980-1985 et 1985-1990 étaient respectivement de 9% et 4%.

Les principaux producteurs de phosphate naturel sont: les USA (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).

Trois zones principales, (l'amerique du Nord, l'europe de l'Est et l'afrique), réalisent donc plus des trois quart de la production mondiale. Le phosphate est d'ailleurs l'une des rares

matières premières minérales où 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 Amérique du Nord et l'Europe de l'Est. L'indice de concentration est extrêmement élevé dans la mesure où trois pays, (les Etats Unis, l'ex-URSS et le Maroc), comptent pour les deux tiers de la production mondiale.

L'Amérique du Nord reste la première zone productrice mondiale en 1990 même si la production de ce pays a connu un déclin sensible au cours de la décennie, (53,5 Mt en 1980 à 45,5 Mt en 1990).

La seconde zone productrice est l'Europe de l'Est. La production de l'ex-URSS, à l'inverse des Etats Unis, a fortement augmenté entre 1980 et 1990, (+12,2 Mt), soit un taux de croissance de près de 50%.

Le continent asiatique représente en 1990 seulement 6% de la production mondiale. La quasi totalité de la production asiatique est réalisée en Moyen-Orient.

La production africaine est restée relativement stable au cours de la dernière décennie, (+4% sur 10an). Cependant, compte tenu de la croissance de la production mondiale, la part de l'Afrique a sensiblement décliné, (24% en 1980 et 22% en 1990). Au sein de ce continent, trois pays, (le Maroc, la Tunisie et l'Afrique du Sud), représentent plus des quatre cinquièmes de la production dont 56% uniquement pour le Maroc. Aussi bien au Maroc qu'en Tunisie, les taux de croissance cumulée au cours de la décennie 1980 ont été nettement supérieurs à la moyenne africaine, respectivement 12,5% et 43%.

b- La commercialisation:

*- Classification du phosphate dans le marché:

Le marché de phosphate se divise en deux grandes classes:

- Les bas titres: c'est à dire les minerais d'une teneur inférieure à 73% en PBL¹, on peut citer les catégories suivantes avec quelques exemples:
 - 58-63%: Phosphates tunisiens du bassin de Gafsa, M'dila, K.Djerda et les phosphates algériens de M'zaita.
 - 63-65%: Phosphate tunisien de Gafsa, phosphate russe brut.

¹ - La richesse d'un phosphate naturel est exprimée:

- Soit en acide phosphorique: P_2O_5 ;

- Soit en phosphate tricalcique ($PO_4 \cdot 2Ca_3$) dont les abréviations utilisées dans les textes de langue anglaise sont:

TPL (tribasic phosphate of lime) et BPL (bone phosphate of lime). Le passage d'une unité à l'autre se fait par la formule suivante:

un phosphate tricalcique = TPL ou BPL = 2,185 P_2O_5 .

- 65-70%: Phosphate tunisien de Gafsa et M'dila, algérien de Kouif (Tébessa), américain de Floride, phosphate égyptien de Kosseir et de Safaga.
- 68-73%: Phosphate de Floride, de Maroc.
- 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 Khouribga, phosphate américain de Floride.
 - Au dessus de 80%: Phosphate russe concentré, phosphate de Iles d'Océanie, phosphate américain riche de Curacao.

*- Les exportations:

Les exportations mondiales de phosphate ont fortement regressé 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.

Les principaux exportateurs sont le Maroc . Malgré une baisse de son exportation entre 1980 et 1990, ce pays couvre près du tiers des exportations mondiales. Il convient par ailleurs de mettre en exergue les exportations Sud Africaines qui étaient insignifiantes en 1980 (3600 t) et qui ont atteint 687000 t en 1990 et plus de 1,2 Mt en 1991.

L'asie occupe le second rang avec 22% des exportations mondiales. La Jordanie est un des rare pays dont les exportations ont progressé au cours de la dernière décennie (+1,2Mt) soit un taux de croissance de 34%.

L'amérique du Nord, exclusivement les états Unis, est la troisième zone exportatrice en 1990 avec près de 20%. La diminution la plus importante dans les exportations mondiales est enregistrée aux états Unis dont les exportations ont chuté de plus de 50% (-7,4 Mt).

L'europe de l'Est est la quatrième zone avec 7% des exportations mondiales. A l'instar des états Unies, Les exportations de l'ex-URSS ont sensiblement baissé au cours de la décennie (-2 Mt), soit près de 42%.

c- 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 1990, le prix de l'acide phosphorique a connu une baisse plus importante. Il se négociait à 350 \$/t en 1989 et seulement à 214 \$/t au troisième trimestre 1993. Selon le directeur de l'office

chérifien des phosphates (OCP), cette baisse est imputable aux exportations à bas prix de l'ex-URSS².

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

II-1-4- Potentiel de production, commercialisation et prix du phosphate en Algérie:

a- Le phosphate en Algérie:

L'essentiel des ressources de la production de phosphate en Algérie est localisé dans le gisement de Djebel Onk situé dans la Wilaya de Tébessa.

D'autres gisements aujourd'hui de faible intérêt économique du fait des ressources limitées ou épuisées ont été exploités puis abandonnés au cours de la première moitié de ce siècle. Il s'agit du gisement de Kouif dont la production a culminé à plus de 500.000t/an au cours des années 50 et qui est devenue insignifiante après l'indépendance, des gisements de Mzaita et Ras El Oued situés 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 200.000t et 400.000t.

a- Les capacités de production:

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

- Extraction en carrière.....4,5 Mt/an.
- Une usine de calcination de phosphate calciné.....900.000 t/an.
- Deux usines de dépoussiérage de phosphate dépoussiéré.....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 des difficultés d'écoulement du phosphate dépoussiéré destiné initialement au complexe d'engrais

² - Diagnostic du secteur minier, Janvier 1994, rapport N°2, EDEMINE.

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_2O_5 , (28-30% BPL).

c- Moyens de production et leur état de marche:

Les équipements de la carrière ont bénéficié au cours des 20 dernières années des programmes périodiques de renforcement et de renouvellement, ce qui a permis le maintien d'une capacité d'extraction surdimensionnée.

Les équipements de la carrière compte:

- A la foration : 4 sondeuses d'abattage.
- Au chargement:
 - 3 pelles extractrices à godet de 6 m³.
 - 2 pelles extractrices à godet de 4 m³.
 - 4 pelles chargeuses à godet de 3 et 5 m³.
- Au roulage:
 - 11 camions de carrière de 35t.
 - 20 camions de carrière de 50t.
- Au terrassement:
 - 4 bulldozers.
 - 2 niveleuses.
 - 1 arroseuse.

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 atelier de dépoussiérage pour la concentration du phosphate à sec de 2000 t/j.
- Une chaine de débouillage, calcination, lavage, séchage du phosphate de 2000 t/j.

Quant aux usines de traitement, elles ont aujourd'hui entre 15 et 35 ans d'âge. C'est grâce à une maintenance soutenue que ces équipements, qui tournent sans arrêt, sont encore dans un état de marche satisfaisant. Mais des opérations de rénovation, voire de modernisation sont nécessaires pour réhabiliter les capacités installées.

Les structures d'appui à la production comportent:

LA PARTIE THEORIQUE

- Des ateliers de maintenance bien équipés.
- Une station service pour engins roulants.
- Des magasins de consommables.
- Un système d'alimentation en eau comprenant une station de pompage, un aqueduc de 90Km et un réservoir de stockage.
- Une ligne d'alimentation en énergie électrique de 60KV.
- Un puits de pétrole situé dans la région qui alimente en huile brut la mine pour les besoins de l'usine de calcination.

d- Evolution de la production

Au cours des années 80 et 90, la production de la mine de Djebel Onk a évolué comme suit:

Tableau N° 2: Evolution de la production .

en 1000 t.

Anée	Minerai T.V	Phos. dépoussiéré	Phos. calciné	Total concentré
1980	1974	626	399	1025
1981	1921	-	-	916
1982	1816	-	-	966
1983	1847	-	-	877
1984	2027	-	-	1000
1985	2299	786	435	1221
1986	2531	-	-	1203
1987	2307	-	-	1209
1988	2576	-	-	1332
1989	2358	-	-	1254
1990	2161	747	382	1129
1991	2167	-	-	1118
1992	2277	-	-	1143

LA PARTIE THEORIQUE

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

e- Commercialisation et prix:

*- La commercialisation:

Le phosphate calciné est destiné en priorité à l'exportation dans la mesure où sa teneur élevée en PBL permet de le placer avantageusement sur le marché.

Quant au phosphate dépoussiéré moins riche, il était destiné entièrement à l'industrie nationale des engrais et de l'acide phosphorique. Comme cette industrie ne s'est pas développée comme prévu, (doublement du complexe d'engrais d'Annaba), FERPHOS s'est trouvée avec des surplus qu'elle essaie d'exporter malgré les difficultés du marché.

En effet sur les 700 à 800.000 t/an produits, le marché local représenté exclusivement par Asmidal-Annaba, absorbe rarement plus de 350.000 t/an.

Ainsi l'évolution de la commercialisation des phosphates au cours de la période 1980-1992 a été la suivante:

Tableau N° 3: Evolution de la commercialisation:

en 1000t.

Année	Locale	Exportation	Total
1980	225,5	768,5	994
1981	131	791	922
1982	242	703	945
1983	204	670	874
1984	407	568	975
1985	384	821	1205
1986	318	873	1191
1987	349	845	1194
1988	495	877	1372
1989	333	889	1187
1990	314	770	1054
1991	296	805	1101
1992	280	814	1094

Sur le marché local, le phosphate est livré à un seul client (Asmidal-Annaba). Celui-ci consomme essentiellement du phosphate dépoussiéré et sa consommation a fluctué entre 131000t et 495000t.

LA PARTIE THEORIQUE

Les produits exportés sont:

- Le phosphate calciné-lavé.....75-77% PBL.
- Le phosphate dépoussiéré.....63-65% PBL.
- Le phosphate débourbé-séché.....66-68% PBL.
- Le phosphate calciné.....69-72% PBL.

Ces produits sont obtenus dans les usines de calcination et de dépoussiérage en combinant les opérations de traitement. Cette gamme variée rend moins difficile le placement du phosphate de Djebel Onk sur le marché européen, principal débouché actuel.

Remarque: On remarque que les exportations ont augmenté parallèlement à la production à partir de 1985.

*- Evolution des prix:

En Algérie, les prix du phosphate ont évolué entre 1980 et 1990 comme suit:

- Prix locaux homologués:
 - Calciné.....161,3 DA/t.
 - Dépoussiéré.....119,3 DA/t.
- Le tarif du transport inclus a évolué comme suit:
 - De 1980 à 1985.....20,70 DA/t.
 - De 1986 à 1987.....30,98 DA/t.
 - De 1988 à 1989.....58,59 DA/t.

A partir de 1989 les prix ont été négociés entre FERPHOS et Asmidal, le prix du transport étant désormais à la charge de l'acheteur.

Tableau N° 4: Evolution des prix à partir de 1989.

En DA/t.

Année	1989	1991	1991	1992	Au 30/06/93
Calciné	161,3	324,21	612,51	733,41	575,06
Dépoussiéré	119,3	170,92	413,42	456,98	411,34
Prix moy. réalisé	119,83	171,40	424,50	468,41	450,96

A l'exportation, les prix sont ceux du marché mondial négociés en fonction de la qualité des produits:

Tableau N° 5: Evolution des exportations à partir de 1989.

En DA/t.

Année	1989	1990	1991	1992	Au 30/06/93
Calciné	277	402,57	611,40	869,50	892,1
Dépoussiéré	182,37	237,56	468,03	557,75	532,35
Débourbé	-	-	601,30	539,12	616,67
4 ^{ème} qualité	-	-	-	690,64	678,39

Remarques:

- 1- L'introduction des nouvelles qualités de phosphate, débourbé + 4^{ème} qualité, a permis d'améliorer les prix de vente à l'exportation.
- 2- Pour tous les produits, il y a eu des augmentations substantielles en DA après 1990 qui sont dues à la dévaluation du DA. Sur le marché mondial, les prix réels ont stagné ou diminué.

I-2- Procédés de traitement des phosphates: [5], [10], [12], [13].**I-2-1- La calcination:**

La calcination est un traitement thermique, qui consiste à faire passer le minerai de phosphate humide et criblé dans un calcinateur rotatif incliné, et ce, 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 960 °C, pour permettre l'élimination:

- de l'eau d'humidité.
- de l'eau de cristallisation.
- de l'eau de constitution.
- de la matière organique.
- du CO₂ 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.

I-2-2- 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 les tranches limites ($> 2,5\text{mm}$ et $< 0,1\text{mm}$), la tranche intermédiaire est plus riche en BPL.

I-2-3- Séchage et dépeussièrege (traitement à sec):

Le but du séchage est la réduction du taux d'humidité du phosphate de 13-20% à environ 1% par évaporation d'eau. L'énergie nécessaire est fournie par la combustion du fuel en présence d'un excé 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 poussières contenant des petits cyclones et envoyées ensuite au stockage avec le reste du produit marchand. Ce procédé est appelé dépeussièrege, 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.

I-2-4- 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 phosphate sédimentaire.

La flottation est utilisée actuellement pour enrichir au maximum les phosphates Américains et celui du Sénégal, ils ont été flottés avec acides gras et savons. La teneur obtenue dépasse 80%.

Cas du gisement de Djebel Onk:

Bien que la méthode de séparation électrostatique n'est pas très utilisée, dans le cas du gisement de Djebel Onk, elle est adaptée à cause du manque d'eau qui caractérise cette zone. Nous nous intéressons davantage dans cette étude à cette méthode.

L'exploitation du phosphate du gisement de Djebel Onk est amenée à ciel ouvert à partir de deux gradins verticaux de 15 à 25m, 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 il subit des opérations d'enrichissement suivant deux procédés (voir le flow sheet):

1. Traitement par voie humide: Un débouillage-calcination-lavage-séchage.
2. Traitement par voie sèche: Un dépoussiérage.

La calcination du phosphate est réalisée à 900 °C dans deux fours verticaux à lit fluidisé. Le dépoussiérage est réalisé dans les selecteurs 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 donne un concentré de phosphate calciné riche à 75-77% BPL. Le second procédé conduit à un concentré de phosphate dépoussiéré de 63-65% BPL.

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

Les installations de traitement comprennent:

- Une usine de débouillage-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 69-72% BPL et le débouillé séché à 66-68% BPL.

Les phosphates marchands sont acheminés vers des trémies de stockage chargés en wagons et évacués par voie ferrée, dite ligne minière (Est Djebel Onk-Tébessa-Annaba).

L'avenir de la calcination est lié à la disponibilité de l'énergie, de bon marché et de l'eau en abondance qui n'est pas réalisé actuellement.

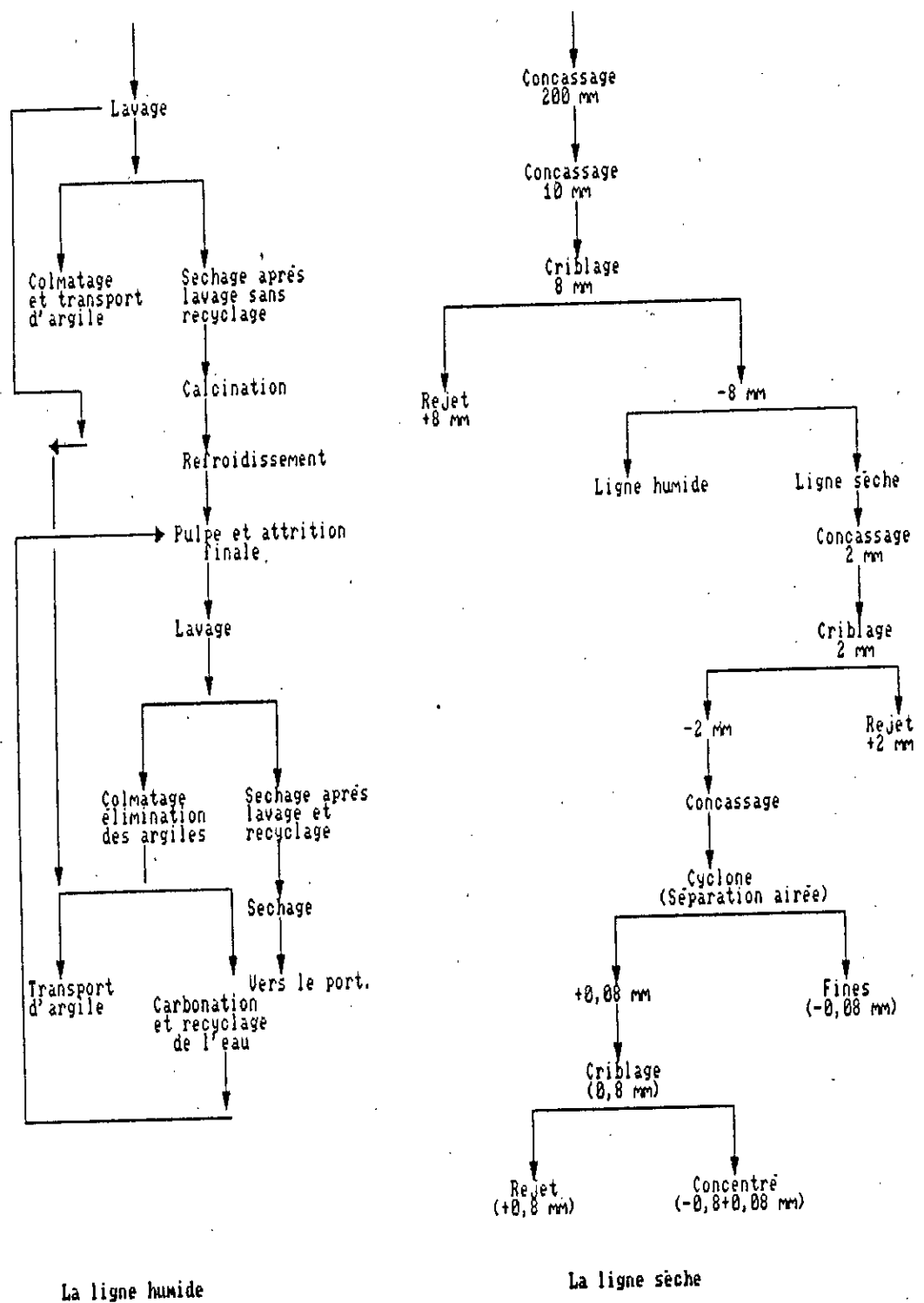


figure N°1: "Flowsheet" de Djebel Onk (d'après FERPHOS).

L'intérêt du dépoussiérage est dans sa simplicité, dans le fait qu'il n'exige pas d'eau et dans son coût relativement réduit. Par contre ses inconvénients sont un faible rendement et un faible gain de teneur en P_2O_5 .

I-3- La méthode de séparation électrostatique des minerais, théorie et applications: [3], [4], [6], [11], [12], [13]

I-3-1- Définition et principe:

La séparation électrostatique est la classification ou le triage selectif des espèces solides au moyen des actions des forces sur des corps chargés ou polarisés électriquement se trouvant dans un champ électrostatique.

La séparation est obtenue par l'adaptation ou le réglage de plusieurs paramètres, à savoir:

- La force électrostatique d'une part,
- Les autres forces supplémentaires, force de gravité et force centrifuge, d'autre part
- Le temps d'action de ces forces sur les particules solides à séparer.

de telle sorte que chaque particule à la fin, sous l'influence de la résultante de ces forces, ait une trajectoire différente.

On distingue:

1. les séparations électrostatiques qui se font dans l'air. Celles qui utilisent le mécanisme de décharge de Corona sont souvent appelées séparation à haute tension.
2. Les séparations faites dans les liquides. Celles-ci sont de deux types:
 - Diélectrophesis: si les mouvements des particules sont dûs aux effets de polarisation dans un champ électrique non uniforme.
 - Electrophoresis: si les mouvements des particules sont dûs aux charges libres des différents espèces à séparer se trouvant dans un champ électrique.

Il n'y a pas d'application industrielle dans le domaine de la concentration des minerais par électrophoresis ou diélectrophesis.

Dans le cadre de ce travail, on va se limiter à l'étude de la séparation électrostatique à haute tension.

I-3-2- Les applications types de la séparation électrostatique:

Les applications types de la séparation électrostatique sont:

- L'enrichissement des différents minerais, comme la concentration des minerais d'ilménite, de rutile, du zircon, de l'apatite, de l'amiante, de l'hématite et de beaucoup d'autres.
- La purification de la nourriture, comme les céréales.
- La classification ou le triage des déchets, comme ceux contenant des fils de cuivre.
- La classification des particules solides suivant leurs dimensions et leurs formes.

Le tableau suivant donne une liste partielle des différentes séparations industrielles antérieures basées sur l'électrostatique:

Tableau N° 6: Quelques séparations industrielles basées sur l'électrostatique.

- Arsenopyrite-gangue feldspathique
- Amiante-silicates
- Baryte-silicate
- Chromite/ilménite/magnétite-monazite
- Charbon minéral-pyrite
- Cobalt/Argent-silicate
- Coke-fer
- Sel gemme-silvine
- Ilménite-sable des plages
- Kaolin-contaminations ferreuses
- Fils-caoutchouc/thermoplastiques.

I-3-3-- Types de séparateurs électrostatiques:

Tous les systèmes de séparations électrostatiques contiennent quatre composantes:

1. Un mécanisme de charge : Il existe plusieurs façons de charger les solides électriquement, mais seulement trois mécanismes sont utilisés dans les séparations électrostatiques commerciales, à savoir:
 - Chargement ou électrification par contact.
 - Electrification par des ions ou bombardement par des électrons (effet Corona).
 - Electrification par conduction.
2. Un champ électrique externe: La présence du champ électrique est obligatoire, il est créé par une source de haut voltage. Le potentiel électrique est de l'ordre de 10 à 100 KV, par contre le champ électrique est de l'ordre de 400 à 3×10^3 KV/m.
3. Un régulateur des trajectoires des particules: Une séparation physique de deux types de particules est toujours faite par l'ajustement des forces et de leurs durées d'actions sur ces particules, de telle sorte que ces deux types de particules aient des trajectoires différentes à un moment prédéterminé. En plus des forces électriques, il est toujours avantageux d'utiliser d'autres forces, comme la force de gravité et la force centrifuge, pour effectuer une bonne séparation.
4. Un système d'alimentation de la zone de séparation en minerai et un autre système pour la collection des produits de séparation.

La désignation d'une machine de séparation, dépend toujours du type de mécanisme d'électrification utilisé pour effectuer la séparation. Pour cela on a trois types de séparateurs électrostatiques suivant le mécanisme de chargement électrique des particules:

- Le Free-Fall séparateur: qui utilise une électrification par contact. C'est le mécanisme le plus fréquemment utilisé pour charger sélectivement les particules et faire une séparation électrostatique de deux espèces de matériaux diélectriques. Ses exemples types sont: la séparation des (feldspaths-quartz, quartz-apatite et selgemme-sylvine).
- Le séparateur à haut tension. Il utilise l'effet de Corona, appliquée, quand un minerai est composé de bons et mauvais conducteurs électriques. Ses exemples types sont: la séparation de (Rutil et ilmenite « conducteurs » -zircon et quartz « isolant » -hématite). Voir figure 2.
- Le séparateur à conduction: électrification par conduction.

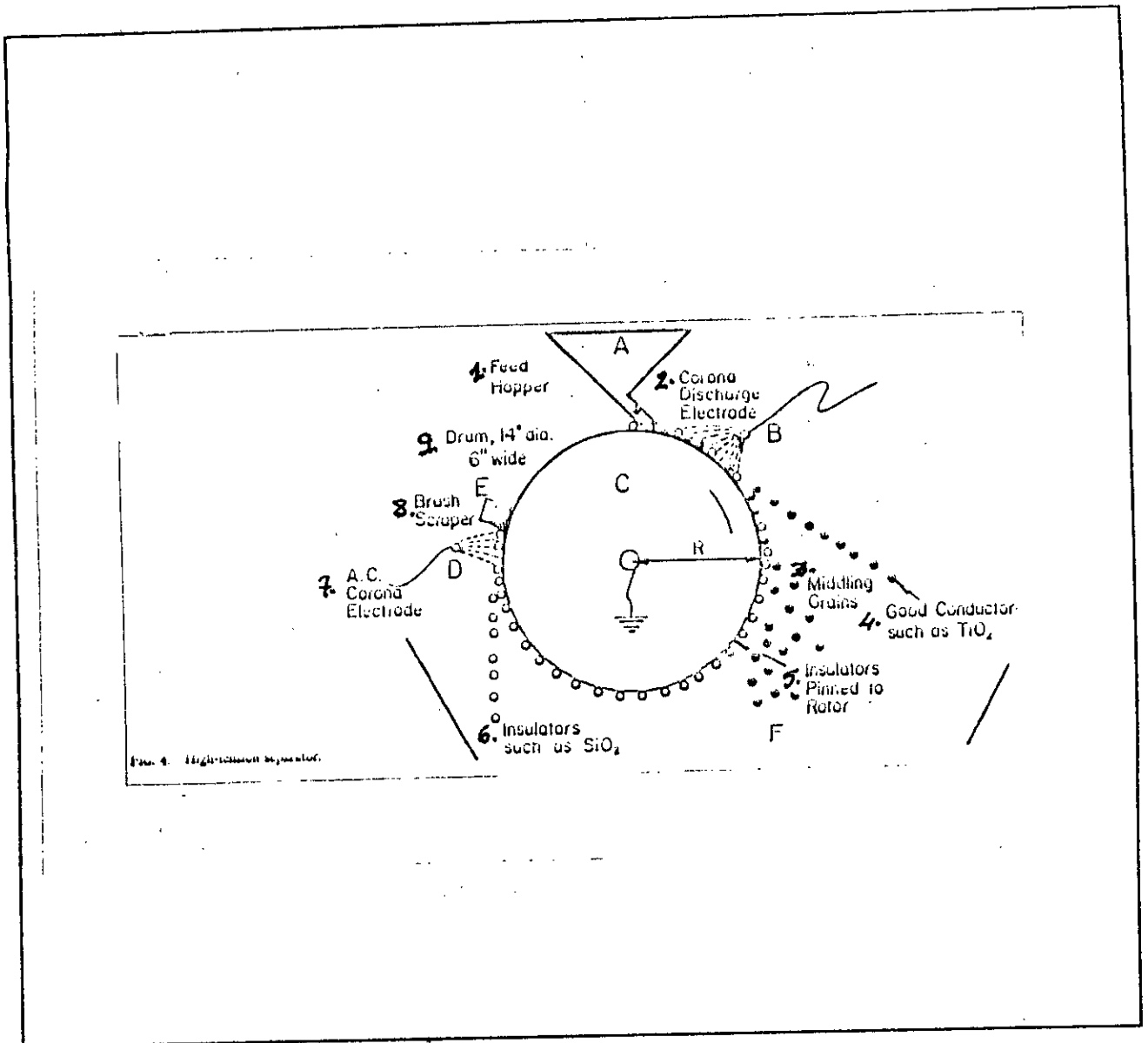


Fig. 4. High-voltage separator.

Fig N°2: Separateur à haute tension

- | | |
|---|--|
| 1. L'alimentation par vibration. | 6. Isolants, comme SiO ₂ . |
| 2. Électrode de décharge par l'effet Corona. | 7. L'électrode du « A.C Voltage ». |
| 3. Grains mixtes (semi-conducteurs). | 8. Brosse à gratter. |
| 4. Bon conducteurs, comme TiO ₂ . | 9. Tambour, 14 '' de diamètre et 6'' de largeur. |
| 5. Isolants (non ou mauvais conducteurs)
Colés au rotor. | |

1-4- Principe d'analyse granulométrique par tamisage: [14], [15]

On appelle analyse de tamisage l'opération du matériau sec aux tamis à mailles différentes pour déterminer la composition granulométrique.

Pour l'analyse de tamisage, on applique des jeux de tamis métalliques standardisés dont les mailles carrées sont mesurées en millimètres ou en mèche³, le jeu de tamis est muni par un couvercle et une cuvette. Les tamis, dans un jeu de tamis, sont disposés l'un au dessous de l'autre dans l'ordre décroissant des dimensions des ouvertures. Sur le tamis supérieur, on met l'échantillon de poids déterminé. Puis le jeu de tamis est mis dans le dispositif de serrage du secoueur mécanique et tamisage dure ordinairement 10 à 30 minutes.

Après le tamisage, les refus de chaque tamis sont pesés avec la précision de 0,01g. Les rendements des tranches granulométriques sont calculés comme étant le rapport du poids de chaque classe sur la somme des poids de tous les produits.

Les résultats de l'analyse de tamisage sont portés dans un tableau. Avec cela, on calcule les rendements cumulés de la classe refusée, et passée, représentant la somme de rendements de toutes les classes granulométriques qui sont plus petites ou bien plus grosses que les mailles du tamis donné. En suite les résultats de l'analyse de tamisage sont présentés graphiquement sous forme de courbes (figure 3), appelées caractéristiques de grosseur ou bien courbes granulométriques. Ces courbes peuvent avoir la forme de courbe concave, rectiligne ou convexe.

***- Avantage des courbes granulométriques:**

1. D'après la courbe granulométrique, on peut déterminer le rendement de n'importe qu'elle tranche de dimension intermédiaire.
2. La forme des courbes granulométriques permet de juger le caractère de la composition granulométrique du minerai:
 - La courbe concave indique que dans l'échantillon il y a beaucoup de fines.
 - La courbe rectiligne montre la distribution régulière du matériau d'après la grosseur.
 - La courbe convexe indique la prédominance des grosses tranches dans l'échantillon à tamiser.
3. La forme des courbes granulométriques permet de juger indirectement de la dureté du minerai:
 - La courbe concave indique que le minerai est tendre.
 - La forme rectiligne d'une courbe granulométrique montre que le minerai est mi-dur.
 - La courbe convexe indique que le minerai est dur.

³ - Mèche: est un terme anglais; il signifie le nombre de mailles dans un pouce linéaire.

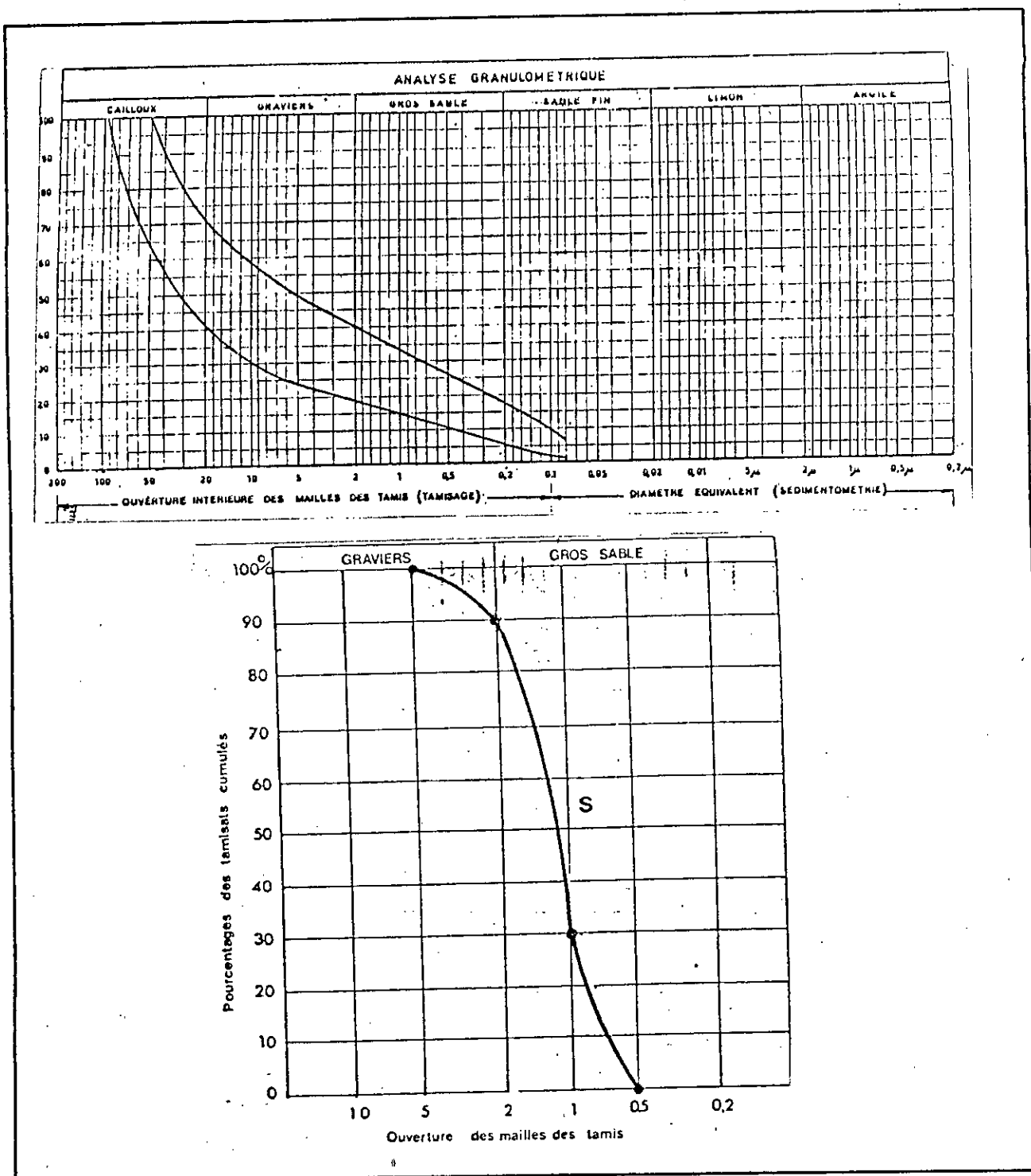


Figure 3 : Exemple d'une présentation graphique des résultats d'analyse granulométrique

II- LA PARTIE EXPERIMENTALE

II-1- Le phosphate du gisement de Djebel Onk: [1], [2], [7], [17].

II-1-1- Les caractéristiques du gisement de Djebel Onk:

II-1-1-1- Situation géographique et historique:

Le massif de Djebel Onk est situé à l'extrémité orientale des monts des Nementcha, soit à une vingtaine de Km à l'Ouest de la frontière tunisienne.

Une voie de chemin de fer, pour l'évacuation du minerai marchand, le relie à Tébessa, la ville la plus proche, située à une centaine de Km plus au Nord de Bir El Ater, village, près duquel est construite la cité minière, située à 5Km au Sud Ouest du Djebel Onk. La station d'embarquement du minerai marchand est implantée à Annaba, ville portuaire, située à 350Km de Bir El Ater.

Découvert en 1906-1907, le gisement de phosphate de Djebel Onk n'a été étudié et mis en exploitation qu'entre 1960 et 1965. Gérée par la société du Djebel Onk (S.D.O) de statut privé, la mine du Djebel Onk a été algériénisée en 1967 puis absorbée par la SONAREM en 1973 et enfin par l'entreprise publique économique FERPHOS en 1983. Le phosphate du Djebel Onk qui est transporté par chemin de fer vers le port d'Annaba est destiné en partie au complexe d'engrais phosphatés d'Annaba mis en production en 1972 et en partie à l'exportation. (Figure 4).

II-1-1-2- Caractéristiques géologiques du gisement:

a- La géologie du gisement:

Le gisement de phosphate du Djebel Onk est classé dans la géologie du l'Est de l'Afrique du Nord, où se situent les plus importants gisements de phosphate de l'Algérie et de la Tunisie, qui sont essentiellement, les gisements de la région de Gafsa dans le sud de la Tunisie et les gisements de la région de Tébessa en Algérie. Ces gisements se trouvent dans l'Eocène inférieur.

Géologiquement, le gisement de Djebel Onk est un anticlinal dissymétrique orienté WSW-ENE. Le flanc méridional, accuse des pendages élevés (50° à 90°), contrairement à ceux du versant Nord qui n'excèdent pas (15° à 20°).

Le gisement de Djebel Onk est de type sédimentaire, constitué d'une série de couches sédimentaires phosphatées de puissances variées, allant d'un mètre à 30 mètres environ. Le recouvrement est constitué par des calcaires durs, avec intercalation de couches phosphatées peu puissantes. (Figure 5).

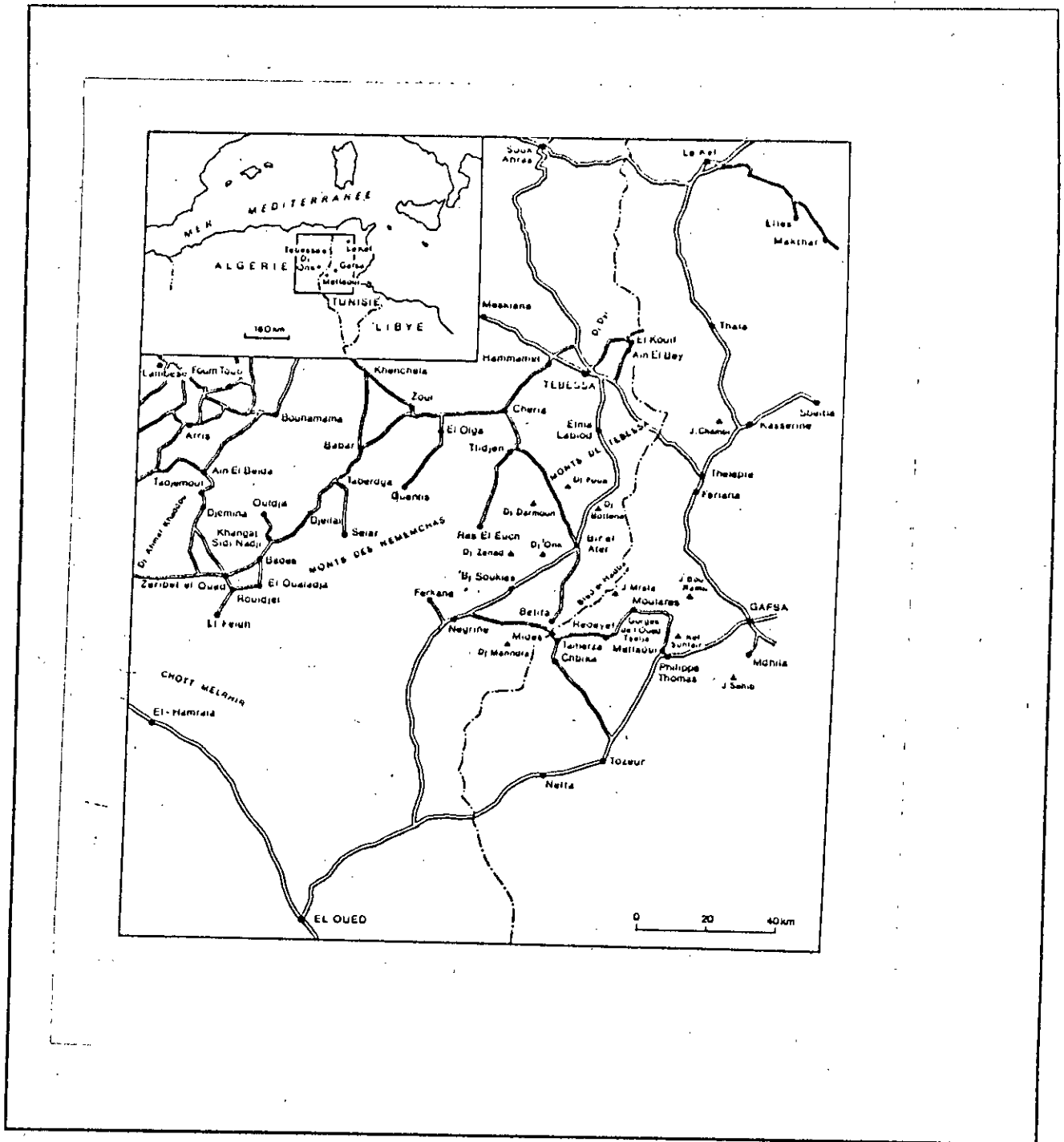
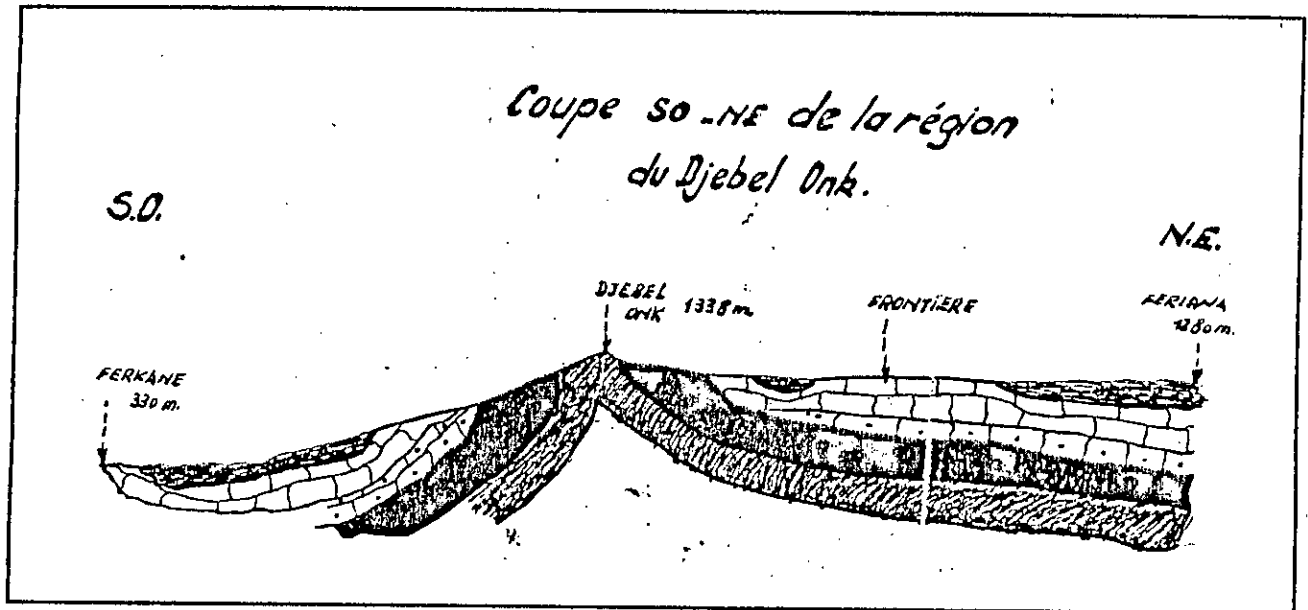


Figure 4 : La situation géographique du gisement de Djebel Onk (d'après CHABOU)



Legende

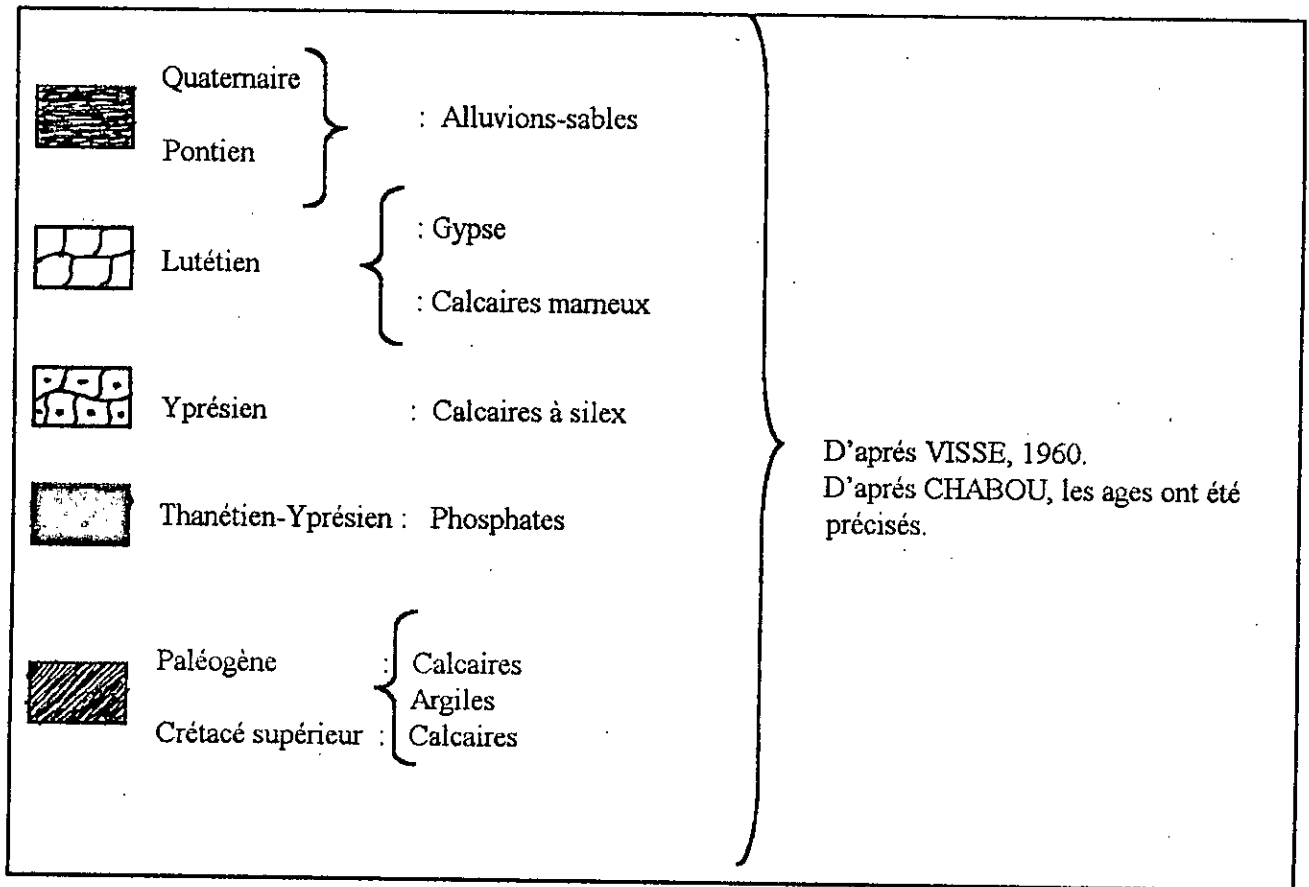


Figure 5 : La géologie de Djebel onk.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

b- Potentiel de réserves géologiques:

Les travaux d'évaluation du gisement de Djebel Onk réalisés par l'EREM au milieu des années 80 ont donné les résultats suivants:

1- Réserves géologiques:

La répartition des réserves par quartiers est la suivante:

Tableau N° 7: Répartition des réserves géologiques par quartier (d'après EREM, 1986).

En millions de tonnes

Quartier	Prouvées	Probables	Possibles	Totales
Djemi-Djema	79	93	263	435
Kef Es Senoun	179,5	50	99	328,5
D.O Nord	-	92	-	92
Bled El Hadba	-	103	62,5	165,6
Oued Betita	-	-	125	125
Totales	258,8	338	549	1146,1

La teneur moyenne en P_2O_5 est estimée à 24-27%. La teneur en magnésie (MgO) est inférieure à 4,5%.

Remarque: Les réserves pauvres en P_2O_5 et riches en MgO estimées par l'EREM ont été décomptées du bilan (1 milliard de tonnes environ).

2- Les réserves exploitables:

Les réserves exploitables à ciel ouvert avec un taux de découverte limité de 4,5, (4 tonnes de stérile pour 1 tonne de minerai), sont estimées à 550 millions de tonnes. Le reste devra être exploité en souterrain. Avec un taux de récupération de 80%, les réserves récupérables seraient de l'ordre de 477 Mt.

L'importance des réserves suppose une durée de vie très importante au rythme d'extraction actuel (3 Mt/an de minerai tout venant). Cette durée de vie demeurera appréciable même avec un rythme 2 ou 3 fois plus élevé.

II-1-2- Les caractéristiques du minerai de phosphate du Djebel Onk:

II-1-2-1- Aperçu général sur l'aspect du phosphate du bassin Tébessa-Gafsa:

Le minerai est une roche d'apparence sableuse, dont la teinte varie, suivant les gisements, du gris clair au brun et au noir selon la proportion de matière organique. Il est constitué par du phosphate oolithique au Djebel Onk dans la couche principale (32m).

Les oolithes représentent la partie la plus riche du minerai. Le ciment qui lie les oolithes est pauvre en phosphate, il est tendre carbonaté dans les gisements du Sud. La nature du ciment varie. Dans tous les gisements, la chaux est presque l'unique base. Elle représente plus de 50% du produit, le calcium est associé au phosphate, aux carbonates et pour une moindre part à la fluorine et aux sulfates, (gypse dominant au Tunisie).

II-1-2-2- Le minerai de phosphate du Djebel Onk:

Le minerai de phosphate du Djebel Onk est caractérisé par la très grande abondance des coprolithes¹, avec une granulométrie hétérogène variant depuis le gros boudin de plusieurs millimètres jusqu'aux nodules de 200 microns. La gangue externe de ce minerai est dolomitique, son importance détermine des teneurs en TPL² faibles (54 à 56%).

On observe toute fois, à côté des minerais coprolithiques, un minerai pseudo-oolithique³, d'une granulométrie plus homogène allant de 80 à 200 microns. La gangue externe de ce minerai est marseuse, sa teneur en TPL est en moyenne de 57%. Ces deux types de minerais forment des couches alternées dans le gisement.

Les principaux constituants du minerai de Djebel Onk sont:

- Le phosphate: sous forme de carbonate-fluorapatite.
- Les carbonates de chaux et de magnésie: Calcite (CaCO_3) et dolomie ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) qui se trouvent soit dans le ciment qui agglomère les nodules phosphatées (éxogangue carbonatée) soit à l'intérieur des nodules (endogangue carbonatée).

¹ - Ce sont des éléments en forme de cylindre plus au moins déformés, considérés comme des excréments de Crustacé, riches en P_2O_5 (30 à 38%).

² - C'est une unité donnant la richesse d'une roche en phosphate (P_2O_5). TPL: Tricalcic phosphate of lime.

³ - Les pseudo-oolithes sont des grains de forme sphérique ou ovoïdale, le centre est souvent constitué par un élément étranger, grain de quartz par exemple, souvent ils sont constitués partiellement par des couches concentriques.

- Les sulfates et les chlorures:
 - De sodium.
 - De potassium.
 - De chaux.
- La silice: contenue
 - Dans les argiles de la gangue.
 - Dans le ciment de certaines couches de phosphates.
 - Dans les quartz.
- Le fer et l'aluminium: existant sous forme d'oxydes.
- Les matières organiques: très peu quantifiées, aucune étude n'ayant été faite à ce sujet..

Le tableau suivant donne une idée générale sur les teneurs en % des différents constituants du minerai du phosphate du Djebel Onk:

Tbleau N° 8: Analyse chimique type du brut:

Anhydride phosphorique P₂O₅	24,6% = %TPL / 2,185
Anhydride carbonique CO₂	10,1%
Anhydride sulfurique SO₂	3,0%
Chlore et Fluore Cl-F	1,8%
Chaux CaO	46,1%
Magnésie MgO	2,7%
Soude Na₂O	1,3%
Potasse K₂O	0,2%
Silice SiO₂	3,8%
Feral Fe₂O₃-Al₂O₃	1,7%
Matières organiques	1,6%
Humidité	3,3%
Total	100%

(D'après Visse, 1960).

II-2- Essais de séparation électrostatique du phosphate de Djebel Onk: [8].

II-2-1- Méthode de travail:

Dans la présente étude expérimentale, on a procédé comme suit:

1. Echantillonnage.
2. Analyse granulométrique par tamisage de l'échantillon.
3. La séparation électrostatique du minerai.
4. Comparaison des résultats de tamisage et de séparation électrostatique.

II-2-1-1- Echantillonnage:

L'échantillon a été pris de l'EREM après avoir été concassé et broyé à une granulométrie inférieure à un millimètre.

II-2-1-2- Analyse granulométrique de l'échantillon:

a- Mode opératoire:

On prend, après le quartage, un échantillon de 150g et on fait une analyse granulométrique par tamisage.

Avant de faire l'analyse granulométrique, il faut au début déterminer le temps du criblage optimal pour lequel on aura un rendement poids plus élevé des classes granulométriques concernées. C'est à dire, combien de minutes on a besoin pour que toutes les classes concernées se séparent complètement de l'échantillon analysé ? . Donc pour cela, on a fait quelques essais de tamisage en variant dans chaque essai le temps.

b- Résultats et interprétation:

Alors, on a obtenu le tableau suivant pour les durées suivantes: $t = 6, 8, 10, 15, 20,$ et 25 minutes.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau N° 9: Le poids en fonction du temps de tamissage (g).

T (min)	6	8	10	15	20	25
Classe (mm)						
-1+0,80	6,2	5,0	3,4	3,6	3,8	3,8
-0,80+0,63	14,2	12,9	12,5	13,4	13,8	13,8
-0,63+0,50	7,3	12,7	11,0	14,1	14,4	14,0
-0,50+0,40	19,9	9,7	12,7	8,4	9,2	9,2
-0,40+0,315	11,4	9,0	10,6	8,5	9,8	9,3
-0,315+0,250	11,2	11,5	9,6	9,6	9,8	9,8
-0,250+0,20	6,4	5,7	7,1	6,9	6,8	7,8
-0,20+0,16	126,3	136,2	38,3	74,7	92,3	49,5
-0,16+0,125	19,5	18,5	100,5	68,9	41,6	66,5
-0,125+0,100	4,7	5,2	10,7	8,9	11,8	16,0
-0,100+0	8,0	8,2	17,8	18,4	21,9	34,2

D'après le tableau N° 9, on peut conclure que le pourcentage des fines, (classe -100 microns), augmente avec le temps de tamissage, comme il est présenté sur le tableau et le graphe suivant:

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau N° 10: Pourcentage des fines en fonction du temps de tamisage « classe -100 microns », figure N°6.

Temps de tamisage (min)	Poids (g)	Rendement poids (%)
6	8,0	3,4
8	8,2	3,5
10	17,8	7,6
15	18,4	7,8
20	21,9	9,3
25	34,2	14,6

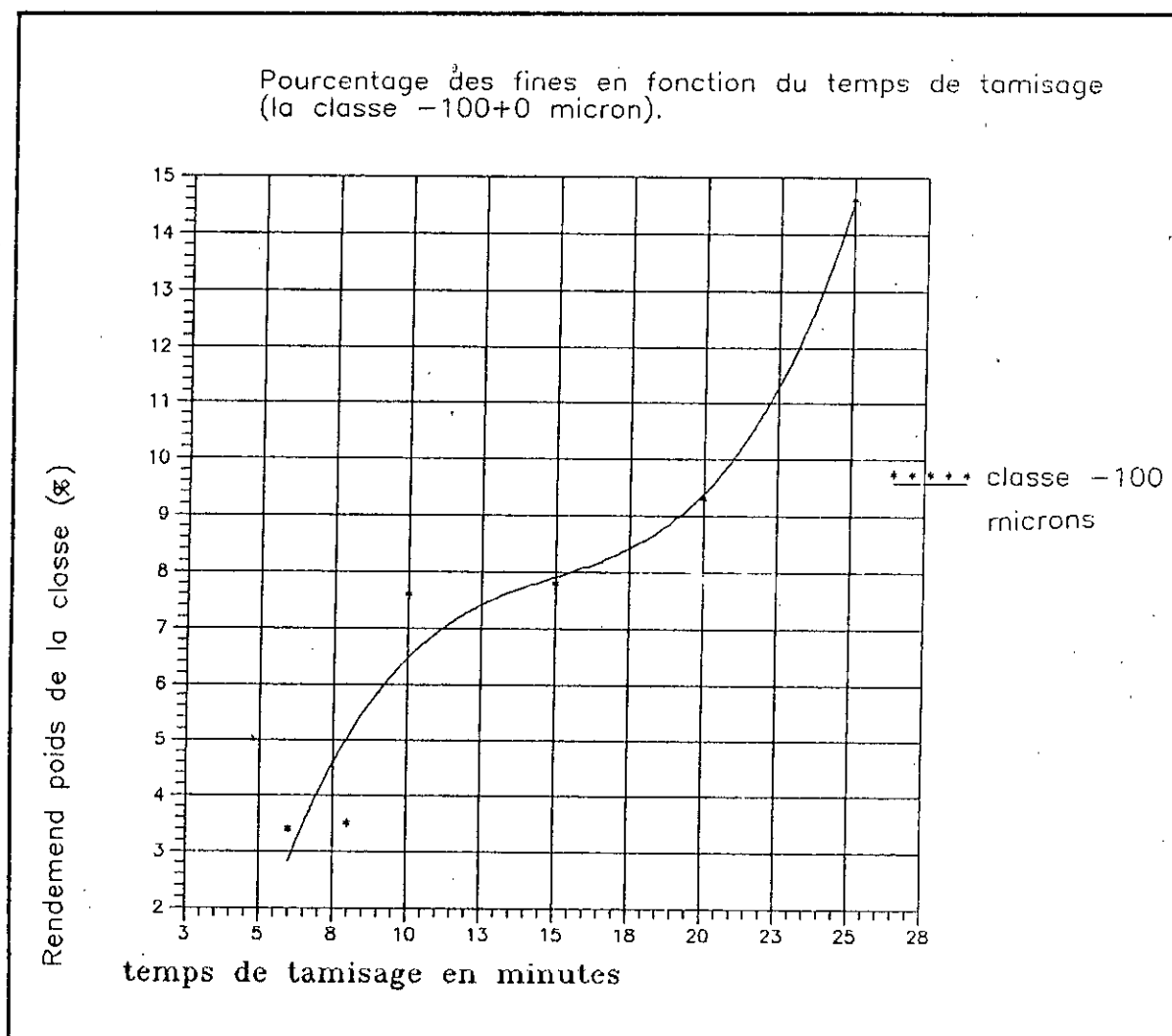


Figure N° 6: la variation du pourcentage des fines (classe -100 microns) avec le temps de tamisage.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Comme notre minerai est une formation hétérogène, alors le choc entre les particules minérales permet de libérer les fines avec l'augmentation du temps de tamisage.

Tableau N° 11: Analyse granulométrique de l'échantillon.

Classes (mm)	Rendement poids R_p (%)	Refus (%)	Passant (%)
-1+0,80	1,4437	1,4437	100,0423
-0,80+0,63	6,4543	7,8980	98,5986
-0,63+0,50	6,4119	14,3099	92,1443
-0,50+0,4	3,6518	17,9617	85,7324
-0,4+0,315	4,2887	22,9804	82,0806
-0,315+0,250	4,0764	26,3268	77,7919
-0,250+0,20	3,0998	29,4266	73,7155
-0,20+0,16	44,2463	73,6729	70,6157
-0,16+0,125	14,7246	88,4075	26,3694
-0,125+0,106	4,4586	92,8661	11,6348
-0,106+0	7,1762	100,0423	7,1762

La caractéristique granulométrique de l'échantillon est donnée par la relation suivante: « Passant(%) = f (d) », où « d » est la granulométrie des grains en (mm), qui exprime le pourcentage cumulé d'éléments de dimension inférieure à chaque diamètre, figure N° 7

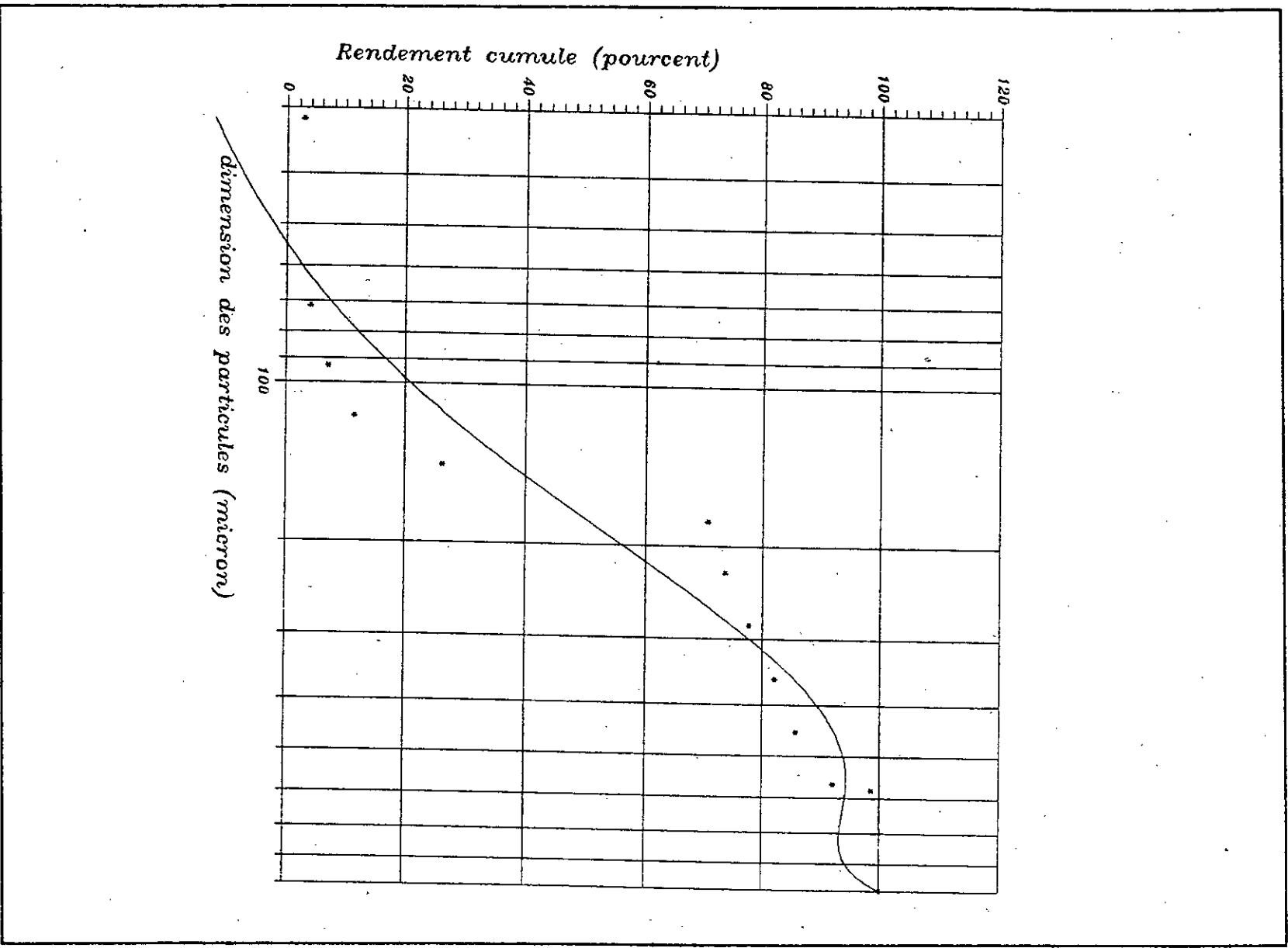


Figure N°7: La caractéristique granulométrique de l'échantillon obtenue à l'ENP (pour une durée de 25 minutes de tamisage).

Tableau N° 12: Analyse granulométrique de l'échantillon réalisé à l'EREM, à la main.

Classes (mm)	Poids (g)	Rp (%)	Refus (%)
-1 + 0,80	220,0	2,65	2,65
-0,8 + 0,63	490,0	5,90	8,55
-0,63 + 0,50	440,0	5,29	13,84
-0,50 + 0,40	1040,0	12,51	26,35
-0,40 + 0,25	10,0	0,12	26,47
-0,25 + 0,16	2360,0	28,40	54,87
-0,16 + 0,10	2340,0	28,16	83,03
-0,10 + 0	1410,0	16,97	100
Total	8310,0	100	-

La caractéristique granulométrique est représenté à la figure N° 8:

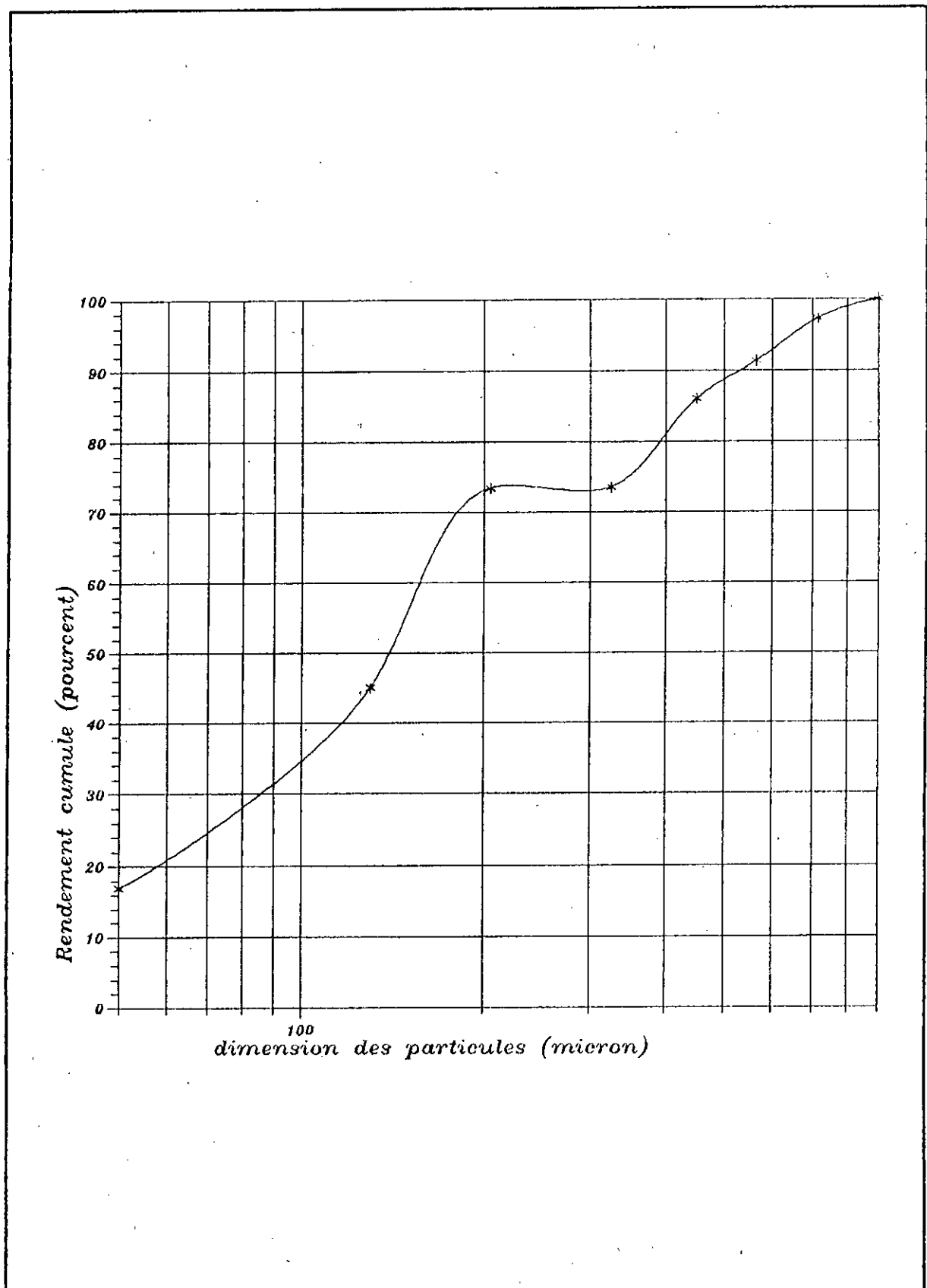


Figure N°8: La caractéristique granulométrique de l'échantillon (tamisage réalisé à la main).

II-2-1-3- La séparation électrostatique:

Les essais de séparation électrostatique ont tous été faits sur le séparateur électrostatique « Carpco Model HP 16 114 » de haute tension, se trouvant dans le département de valorisation de l'EREM, à Boumerdes, (figure 9).

a- Caractéristiques techniques du séparateur: (figure 9)

1- Applications:

Le type des séparateurs, model Corpco HP 16 114, a été désigné spécifiquement pour la séparation en haute tension. Prèsque, toutes les variations des conditions électrodynamiques et électrostatiques du rotor peuvent être réalisés. La séparation d'un mélange sec des matières minérales et non-minérales peut être réalisée à 100%.

Pour déterminer les conditions optimales, la dimension, la forme et/ou la position du rotor, électrodes et alimentation, peut être variée, l'intensité des différentes variables, comme le voltage et la polarité peut être introduite.

2- Désignation:

Le séparateur de haute tension est une machine dont tous ses éléments et unités sont contenus dans une seule boîte en métal. Les contrôles, les boutons et les cadrans de mesure sont montés dans une position clairement visible et facilement accessible dans tout instant. Les rotors plats fabriqués en chrome brillant, sont fournis à 6, 10 et 14 inch (152, 254 et 356 mm) de diamètre. La vitesse de rotor peut être variée de 0 à 600 R.P.M. Un cadran gradué précise la vitesse réelle du rotor. Un système de chauffage électrique devant le vibreur maintient une température optimale de l'alimentation durant la séparation, quand cela est nécessaire. Une lampe Infra rouge pour l'augmentation de la température sur la surface du rotor, pour simuler les conditions industrielles.

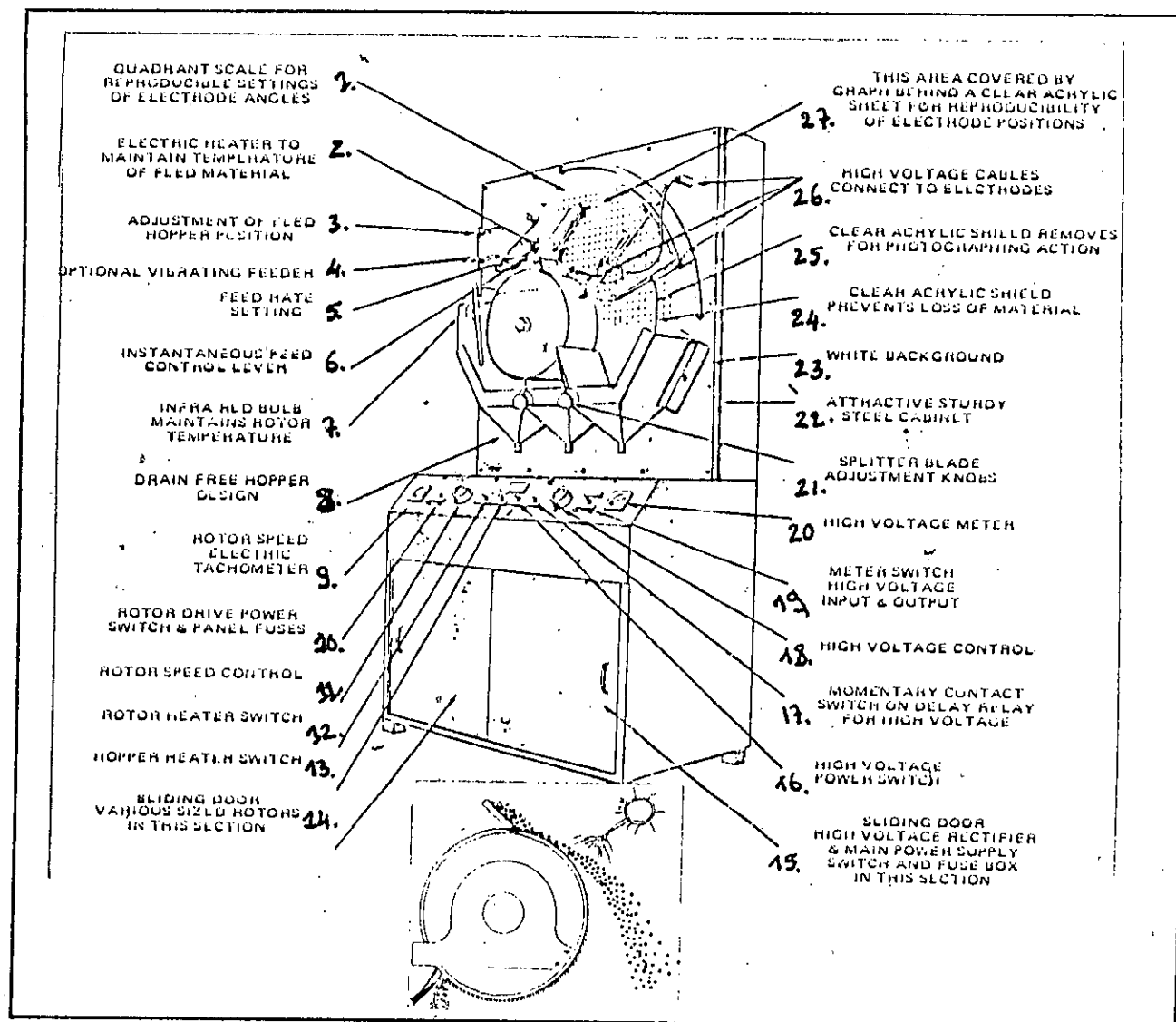


Fig. 9: Le séparateur électrostatique à haute tension « Carpco Model HP 16-114 » de l'EREM.

- | | |
|--|--|
| <p>1. Quart de cercle pour varier l'angle entre les deux électrodes.</p> <p>2. Chauffage électrique pour chauffer l'alimentation en matériaux.</p> <p>3. Ajustement de la position d'alimentateur en matériaux.</p> <p>4. Alimentateur de vibration facultatif.</p> <p>6. Contrôleur instantané du levée d'alimentateur.</p> <p>8. Drains pour récupérer les produits de séparation.</p> <p>10. Bouton on/of du rotor et son fusible.</p> <p>12. Bouton on/of du chauffage du rotor.</p> <p>14. Une porte roulante, rotors de différentes dimensions des ce côté.</p> <p>16. Bouton on/of d'alimentation de haute tension.</p> <p>18. Contrôleur (volent) de haute tension.</p> <p>20. Cadrant de mesure de haute tension.</p> <p>21. Volent d'ajustement des volets.</p> <p>23. Surface blanche.</p> <p>25. Surface en verre pour photographier les trajectoires des grains.</p> <p>26. Câbles de haute tension connectés aux électrodes.</p> | <p>7. Lampe d'infrarouge pour chauffer le rotor.</p> <p>9. Cadrant gradué pour préciser la vitesse du rotor.</p> <p>11. Contrôleur (volent) de la vitesse du rotor.</p> <p>13. Bouton on/of du chauffage du vibreur.</p> <p>15. Une porte roulante, transformateur de haute tension et générateur d'énergie, boîte des fusibles dans ce côté.</p> <p>17. Bouton on/of de mesure de haute tension d'entrée / sortie.</p> <p>19. Bouton on/of de mesure de haute tension d'entrée / sortie.</p> <p>22. Cabine en fer « statique ».</p> <p>24. Surface en verre pour défendre le perd des Matériaux.</p> <p>27. Aire couvrir par des trais horizontaux et verticaux, pour le réglage de la position des électrodes.</p> |
|--|--|

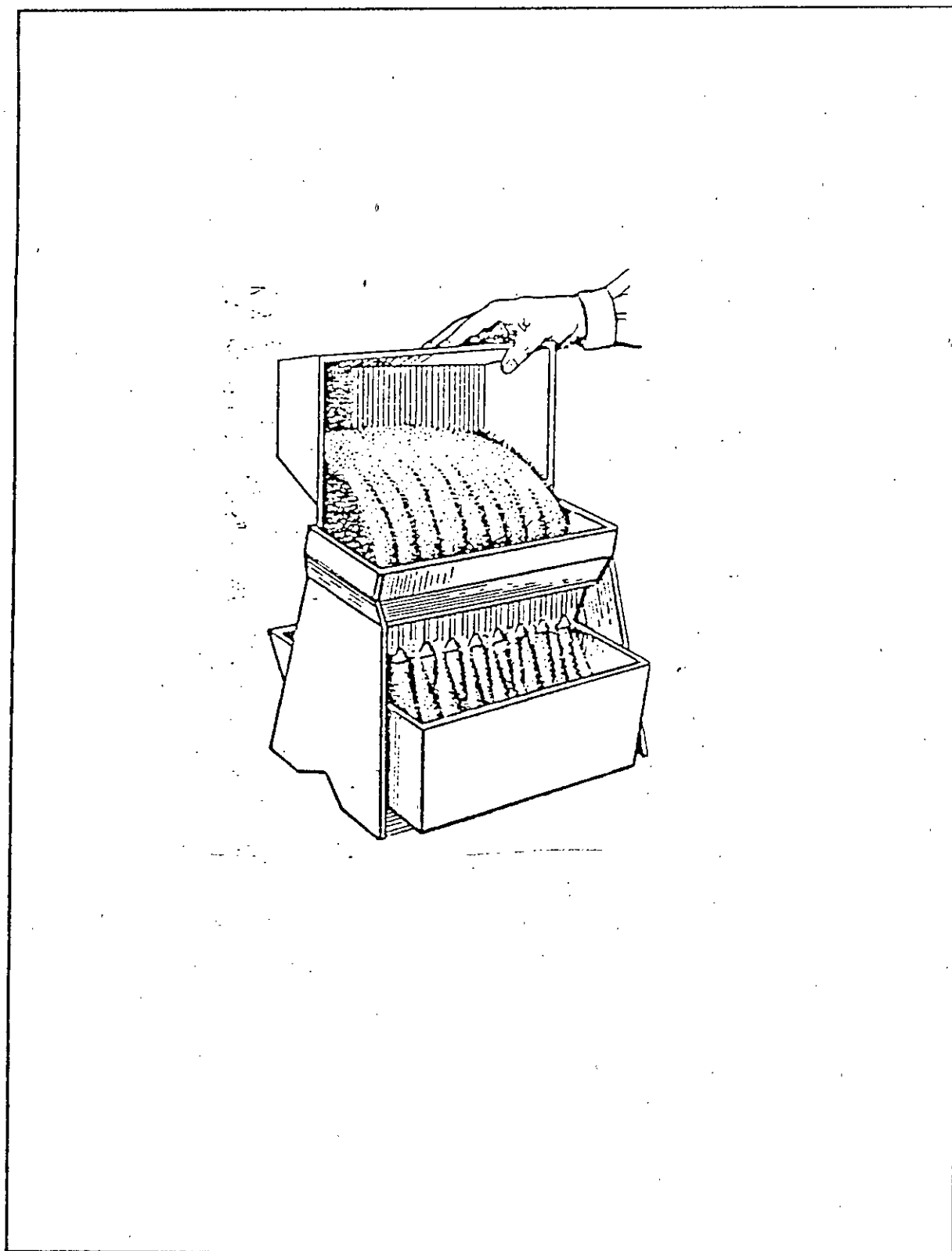


Figure N°10: Le matériel utilisé durant l'opération de l'analyse granulométrique.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

3- Spécifications

Tableau N° 13: Les spécifications techniques du séparateur.

Power: Alimentation en énergie électrique		Poids et distances	
	Watts		mm
- Moteur du rotor: 1/4 HP variable		- Longueur	2150
- L'unité de vitesse AC/DC	345	- Largeur	1150
- Système de chauffage du vibreur	600	- Hauteur	750
- Chauffage du rotor	250		
- Transformateur de haute tension	250		
Total demandé	1445		Kg
		- Poids net	300
		- Poids total	440
			m ³
		- Volume	2

B- Mode d'utilisation:

1- Avant usage:

Il faut être sûr que tous les contrôles sont aux zéro et que tous les boutons sont sur la position (Off).

2- Début d'utilisation:

1. Mettre les électrodes aux positions voulues et verser le minerai dans le tremie.
2. Alimenter en courant électrique.
3. Mettre en marche le moteur.
4. Mettre en marche le chauffage du rotor si c'est nécessaire.

5. Mettre en marche le « A.C. voltage » et tourner le volant jusqu'à entendre un sifflement, alors éviter un excès d'étincelles entre l'électrode du « A.C. voltage » et le rotor.
6. Mettre en marche le « D.C. voltage » et tourner le volant. Travail normal entre 30 et 40 KV.
7. Mettre en marche le vibreur et le chauffage du tremie si nécessaire.

3- Utilisation:

Pour obtenir les conditions optimales du séparateur, nous pouvons jouer sur les variables suivantes:

1. Diamètre du rotor, en changeant le rotor.
2. Vitesse du rotor, en tournant le volant de vitesse (RPM).
3. Positions des électrodes, par l'intermédiaire des boulons de fixation.
4. Valeur du voltage, en tournant le volant du « D.C. voltage ». Pour les applications normales, entre 20 et 30 KV.
5. Forme du champ, en changeant la position du fil de l'électrode haute tension.
6. Les diviseurs peuvent être ajustés à l'aide des manettes.

Remarque:

Quand vous voulez changer le rotor, modifier le tremie ou modifier n'importe laquelle des électrodes haute tension, vous devez avant tout mettre les volants « D.C. » et « A.C. » voltage aux positions zéro et éteindre leur alimentation électrique.

4- Arrêt:

1. Arrêter le vibreur et le chauffage du tremie.
2. Arrêter le chauffage du rotor.
3. Positionner les volants du « D.C. voltage », « A.C. voltage » et celui de la vitesse de rotation (RPM) sur les zéros.
4. Arrêter l'alimentation de la haute tension, du courant continu et du courant alternatif.
5. Arrêter le moteur.
6. Arrêter l'alimentation électrique.
7. Essuyer les électrodes et leurs connexions des saletés et poussières.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau N° 14: Les minerais attirés et repoussés par le rotor du séparateur.

Minerais attirés par le rotor		Minerais repoussés par le rotor	
Anorthite	Feldspath	Bismuthinite	Pyrite
Apatite	Gypse	Brookite	Rutile
baddeleyite	Hornblende	Cassiterite	Sphalerite
Barite	Hypersthene	Chromite	Stibnite
Bastnasite	Magnesite	Columbite	Tantalite
Beryl	Quartz	Galene	Tungstite
Calcite	Schelite	Or	Woloramite
Carnotite	Silimanite	Graphite	
Calestite	Spinel	Hematite	
Corindon	Staurolite	Hubnerite	
Diamond	Tourmaline	Ilmenite	
Diopside	Wollastonite	Liminite	
Kyanite	Zircon	Magnetite	
Epidote	Garnet	Manganite	

c- Paramètres de réglage:

Avant de commencer les essais de séparation, nous devons connaître l'influence des différents paramètres de réglage du séparateur utilisé sur le résultat de séparation du minerai étudié, avec lesquelles on peut avoir une idée primaire et simple sur les résultats qu'on va les obtenir après la séparation.

1- L'influence du voltage:

L'augmentation du voltage entraîne une augmentation de la valeur de la force d'attraction électrostatique, ce qui augmente le rendement poids de la fraction conductrice.

2- L'influence de la vitesse du rotor:

La vitesse de rotation du galet ou du tambour, modifie la valeur de la force centrifuge qui est l'une des forces influentes sur les trajectoires des grains de minerai à séparer. La force centrifuge augmente avec la vitesse du rotor jusqu'à dépasser la force d'attraction où les grains conducteurs collés sur le rotor seront rejetés dans la case des non-conducteurs.

3- L'influence de la position du volet de coupure:

La coupure influe aussi bien sur la séparation des minerais. Ainsi, une coupure élevée laisse passer le minerai dans les stériles, une coupure basse permet le passage des grains stériles dans le concentré ou les mixtes. Alors il faut faire très attention à la position du volet de coupure. Dans tous les essais sur notre minerai, on a laissé le volet de coupure dans une seule position, « Volet(N.C/mixtes)=32°; Volet(mixtes/C.)=48° », car on a pas eu de temps suffisant pour optimiser ce paramètre.

4- L'influence du diamètre du rotor:

La variation du diamètre du rotor influe sur la force centrifuge en la faisant diminuer avec lui, et par la suite influe sur les résultats de séparation. Dans tous les essais sur notre minerai, le diamètre du tambour est constant, il est égal à 152 mm.

Dans notre travail, on a essayé d'optimiser deux paramètres, la vitesse du rotor et le voltage. Les paramètres suivants sont constantes pour tous les essais: Polarité du rotor négative, l'angle entre les deux électrodes 36°, position des volets, voir plus haut.

d- Choix des classes étudiées:

Dans cette étude, on va se baser, pour le choix des classes étudiées, sur deux critères:

- La teneur de la classe, qui doit être élevée.
- La grosseur des grains où, le colmatage a été rencontré.

Pour l'analyse chimique par classe, on a basé sur les résultats obtenues par l'E.R.E.M qui sont les suivants:

LA PARTIE EXPERIMENTALE

1°- Analyse chimique du TV:

Tableau N° 15: Analyse chimique du T.V.

P2O5	Ca θ	Mgθ	PAF**4
25,18 %	41,91 %	2,30 %	13,30

2°- Analyse granulométrique et chimique:

L'analyse granulométrique a été effectuée sur du minerai brut broyé à (-20 mm) et classifié en plusieurs tranches granulométriques suivant le tableau N° 14:

Tableau N° 16: Analyse chimique par classe (d'après l'EREM)

Classe (mm)	Rendement %	Teneur en %			
		P2O5	CaO	MgO	PAF
-20+15	4,78	22,90	11,59	2,81	16,10
-15+12,5	7,9	23,60	43,37	3,06	15,47
-12,5+10	6,99	24,07	41,95	3,32	15,56
-10+6,3	10,96	32,90	41,95	2,30	14,24
-6,3+5	4,09	24,24	41,35	2,30	14,71
-5+2	10,15	22,38	39,10	2,55	15,03
-2+1	8,10	26,10	42,30	2,04	13,08
-1+0,75	3,34	26,33	43,37	1,53	12,91
-0,75+0,5	5,02	26,20	46,93	0,51	11,09
-0,5+0,25	8,32	26,64	44,08	0,77	12,71
-0,25+0,1	22,06	30,37	49,06	-	2,89
-0,1+0,071	1,62	23,90	45,50	1,79	13,73
-0,071+0,042	2,73	18,31	39,10	4,34	20,55
-0,042+0	3,94	11,33	27,02	5,11	20,36
Alimentation	100,00	25,20	41,95	2,30	13,30

4.-* - PAF: perte au feu (à 80 °C), c'est à dire l'élimination des matières organiques et CO₂

LA PARTIE EXPERIMENTALE

A cause du manque des données pour les classes granulométriques détaillés au dessus de 1 mm, on a référé aux données publiées dans une étude sur le phosphate de Djebel Onk, dans le revue de l'industrie minirale de Juin 1987, faite par M. HAMDADOU et Y. CHAMPETIER, dont les résultats de l'analyse chimique pour les classes inférieures à 1 mm, étaient les suivants:

Tableau N° 17: Analyse chimique par classe (d'après M. HAMDADOU, 1987).

Tranches granulométriques (μm)	Eléments					
	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ t
2000	14,06	39,46	14,72	3,31	0,76	0,33
1000	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	13,58	2,08	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

Comentaire:

L'examen des chiffres portés sur les tableaux N° 16 et 17, montre que toutes les fractions granulométriques supérieures à (2 mm) et celles inférieures à (0,1 mm), ne représentent aucun intérêt. Tout ce qui est supérieur à (2 mm) est un mélange de coprolithes et d'agglomérats formés par des petites oolithes englobées par un ciment dolométique. Les peuticules fines renferment des argiles, de la calcite et des débris osseux.

C'est pas cette raison que nous avons considérés dans la suite de notre étude, uniquement les coupures comprises entre (-2) et (0,1) mm.

Pour le deuxième critère de choix, on a pris les classes suivantes:

-1+0,8; -0,8+0,5; -0,5+0,25; -0,25+0,125; -0,125+0.

II-2-1-4- Les essais de séparation électrostatique:

a-mode opératoire:

Après l'échantillonnage, d'un échantillon de 5 à 6 kg, et le quartage, on a obtenu 35 à 40 échantillons de 150g chaqu'un.

Au début, on fait une passe sur le séparateur, pour déterminer la valeur minimale du volatage, pour laquelle on aura une séparation avec une vitesse du rotor constante de 20 tours/min. Pour le minerai étudié, cette valeur réside en 5KV. Alors on commence à varier le voltage à partir de la valeur de 10 KV jusqu'à la valeur de 42 KV, avec une vitesse constante de 20 tours/min, ensuite on fait le même chose pour les deux valeurs de vitesse 30 et 40 tours/min, de telle sorte qu'on aura dans chaque essai trois produits de séparation. Ces derniers sont tamisés, et les rendements cumulés des classes choisies au-dessus seront calculés.

Les tableaux ci-après donnent les résultats de cette séparation pour les deux cas suivants:

1.La variation du rendement poids en fonction du volatage et de la vitesse de rotation du rotor pour les trois produits de séparation obtenus (des résultats généraux).

2.Les caractéristiques granulométriques des produits de séparation pour chaque valeur du voltage et de la vitesse de rotation pour les trois produits.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

I / Resultats généraux de la séparation: « en rendement poids ».

a/ Rp (produits de separation) = f(voltage). Avec vitesse= constant [fig 10].

Tableau N°18 : résultats de séparation pour une vitesse de 20 t/m.

Voltage (KV)	Produit 1		Produit 2		Produit 3		Poids échantillon
	Poids P1(z)	Rp (%)	poids (j)	Rp (%)	Poids (g)	Rp (%)	total P1+ P2 + P3
10	6,5	4,47	0,4	0,27	138,5	95,25	145,4
15	7,4	6,0	1,8	1,46	114,2	92,54	123,4
20	4,6	3,37	6,2	4,54	125,7	92,08	136,5
25	12,6	7,87	7,3	4,56	140,1	87,56	160,0
30	12,8	8,90	13,4	9,32	117,6	81,78	143,8
35	26,1	18,63	12,7	9,03	101,8	72,40	140,8
40	36,2	39,52	7,1	7,75	48,3	52,73	91,6
45	43	47,41	6,4	7,05	41,3	45,53	90,7

b/ Rp (Produits de séparation) = f(Vitesse) avec voltage = constant [fig 16].

Tableau N° 19 : résultats de séparation avec un volatage de 40 KV.

Vitesse	prduit 1		Priduit 2		Prduit 3		échantillons
	poids P1(g)	Rp (%)	Poids P2(g)	RP (%)	Poids P3 (g)	RP (%)	Poids total
V1=20	36,2	39,2	7,1	7,75	48,3	52,73	91,6
V2=30	37,6	27,42	11,1	8,10	88,4	64,48	137,1
V3=40	40,6	31,64	31,64	7,64	77,9	60,72	128,3

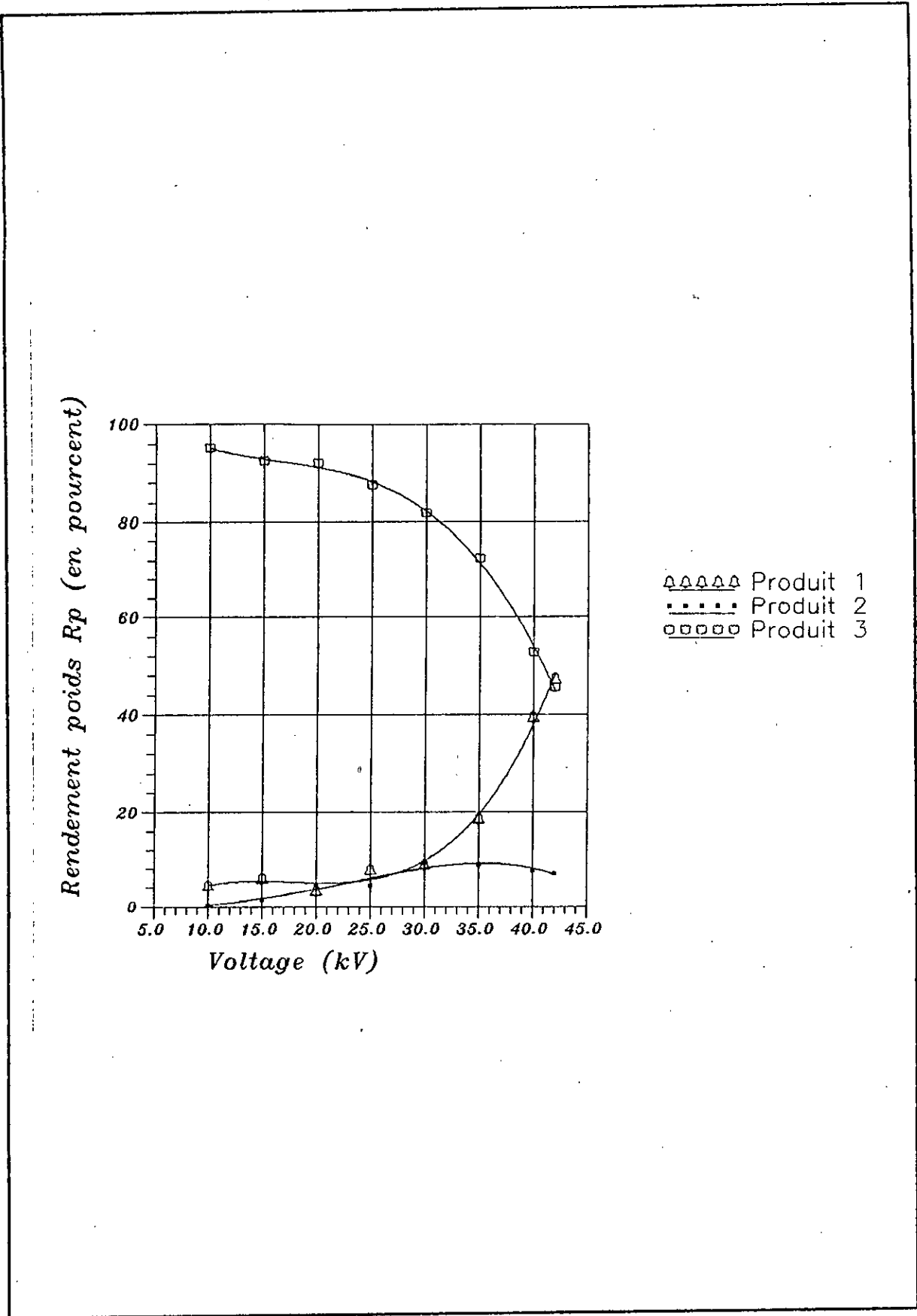


Figure N°11: Rendement poids des produits de séparation en fonction du voltage.

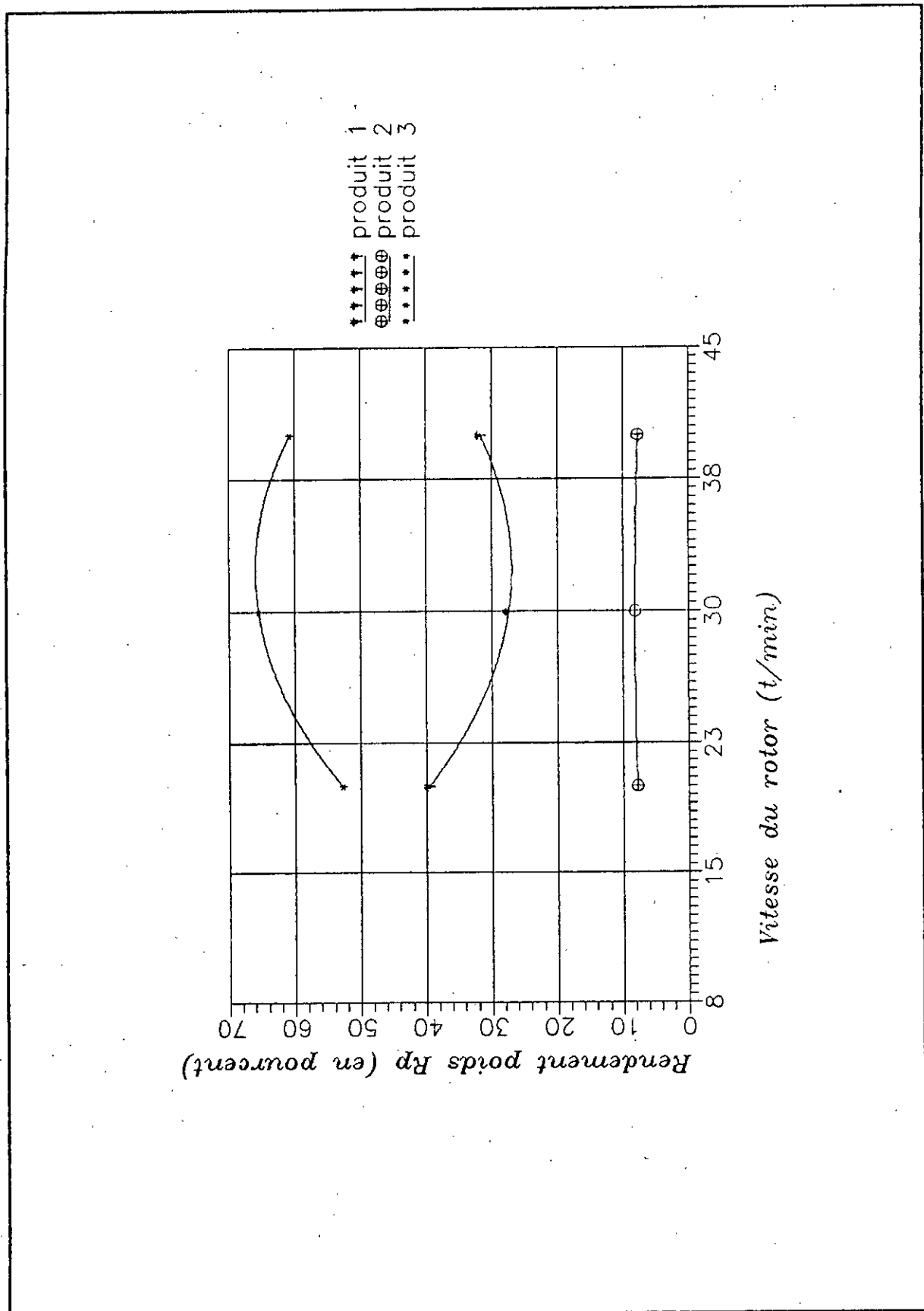


Figure N°12: Rendements poids des produits de séparation en fonction de la vitesse du rotor.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Remarque:

A partir des courbes représentées sur les figures N°: 11 et 12, on constate que plus le rendement poids du produit 3 diminue plus les rendements poids des produits 1 et 2 augmentent, c'est à dire qu'on a une séparation, où des fractions ont été éliminées du produit 3 au fur et à mesure que le voltage et la vitesse du tombour (à partir de 30 tours/min) augmentent. Donc il reste à voir de quelle fraction il s'agit, c'est possible que c'est la fraction fine (-100 à -120 microns).

Résultats de tamisage des produits de séparation (P1, P2, P3) en rendements poids Rp(%):

Tableau N° 20: resultat de tamisage: avec V = 20 tours / min

a- Produit1:

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8+0,5	650	0	0,8	0	0	0,78	1,38	1,39	0,38
0,5+0,25	375	0	2,38	1,54	1,35	2,34	5,25	7,21	3,06
0,25+0,125	187,5	6,52	52,38	6,15	8,11	37,50	62,71	62,10	47,51
0,125+0	62,5	93,48	44,44	92,31	90,54	59,37	30,66	29,30	49,04

b- Produit2:

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	0	0	0	0	0	0,79	1,41	1,56
0,8+0,5	650	0	0	0	0	1,49	3,94	9,86	15,52
0,5+0,25	375	0	5,55	1,61	1,37	5,22	8,66	14,08	14,10
0,25+0,125	187,5	50	38,99	41,93	19,18	59,70	56,70	56,33	54,68
0,125+0	62,5	50	55,55	56,45	79,45	33,58	29,92	18,31	14,06

LA PARTIE EXPERIMENTALE

c- Produit3:

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	1,80	0,87	2,54	1,07	1,19	1,67	3,52	4,11
0,8+0,5	650	11,19	12,96	17,58	14,0	15,13	17,48	19,67	21,55
0,5+0,25	375	11,77	13,04	17,82	20,20	15,05	16,30	16,35	16,46
0,25+0,125	187,5	57,83	70,50	43,91	55,46	58,58	62,47	52,38	50,12
0,125+0	62,5	17,40	2,62	18,14	9,28	10,03	2,06	8,07	7,75

Tableau N° 21 resultat de tamisage: avec V = 30 tours / min

a- Produit1:

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8+0,5	650	0	0	0	0	0	0	0,89	1,06
0,5+0,25	375	0	1,56	0	0	0,80	2,97	4,74	4,79
0,25+0,125	187,5	3,45	25	3,33	3,17	47,20	50	57,86	59,04
0,125+0	62,5	96,55	73,43	96,66	96,82	52,00	47,03	36,50	35,1

b- Produit2:

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	0	0	0	0	0	0,77	0,90	0
0,8+0,5	650	0	0	0	0	0,94	2,32	5,40	9,00
0,5+0,25	375	0	3,85	2,44	1,92	5,66	6,20	11,71	9,00
0,25+0,125	187,5	40	46,15	40,24	54,81	58,49	59,69	61,26	63,00
0,125+0	62,5	60	50	57,32	43,27	34,90	31,20	20,72	19,00

LA PARTIE EXPERIMENTALE

c- **Produit3:**

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	3,02	1,00	1,10	1,07	1,68	1,00	3,73	1,60
0,8+0,5	650	11,11	10,65	13,40	13,91	14,76	16,14	16,63	17,20
0,5+0,25	375	12,40	14,48	12,81	14,27	15,32	14,68	14,93	21,37
0,25+0,125	187,5	58,47	67,58	61,78	66,28	51,68	54,70	54,41	56,51
0,125+0	62,5	15,00	6,28	10,90	4,46	16,55	13,47	10,29	3,31

Tableau N° 22: resultat de tamisage: avec V = 40 tours / min

a- **Produit1:**

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8+0,5	650	0	0	0	0	0	0,34	0,74	0,90
0,5+0,25	375	0	0	1,33	0	2,10	3,80	4,68	5,42
0,25+0,125	187,5	4,44	26,47	4,00	1,35	50,26	56,05	60,50	59,67
0,125+0	62,5	95,55	73,53	94,66	98,65	47,64	39,80	34,00	34,00

b- **Produit2:**

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	0	0	0	0	0	0,85	1,02	0,82
0,8+0,5	650	0	0	0	0	0,73	2,54	7,14	8,20
0,5+0,25	375	0	0	1,20	1,71	4,41	8,47	11,22	12,30
0,25+0,125	187,5	33,33	63,63	45,80	56,41	61,76	64,40	62,24	59,01
0,125+0	62,5	66,66	36,36	53,00	41,88	33,09	23,73	18,37	19,67

c- Produit3:

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classes (mm)	dmoy	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp
1+0,8	900	0,70	1,10	1,20	1,72	1,07	2,83	3,08	2,98
0,8+0,5	650	12,85	13,38	13,64	14,65	15,67	16,01	19,00	19,05
0,5+0,25	375	12,92	13,16	14,62	17,63	15,49	14,92	14,89	14,72
0,25+0,125	187,5	70,41	67,93	65,14	61,36	51,82	53,37	53,79	54,17
0,125+0	62,5	3,11	4,44	5,40	4,62	15,94	12,85	9,24	9,06

Résultats de tamisage pour le produit trois (P3) pour chaque valeur de la vitesse en rendements cumulés Rcm (%):

Tableau N° 23: resultat de tamisage: avec V = 20 tours / min

Produit3: (figure 13-a)

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classe (mm)	dmoy	Rcm ⁵	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm
1+0,8	900	1,80	0,87	2,54	1,07	1,19	1,67	3,52	4,11
0,8+0,5	650	12,99	13,83	20,12	15,07	16,32	19,15	23,19	25,66
0,5+0,25	375	24,76	26,87	37,94	35,37	31,37	35,45	39,54	42,12
0,25+0,125	187,5	82,59	97,37	81,85	90,73	89,95	97,92	91,92	92,24
0,125+0	62,5	99,99	99,99	99,99	100	99,98	99,98	99,99	99,99

⁵- Rcm: rendement cumulé (%).

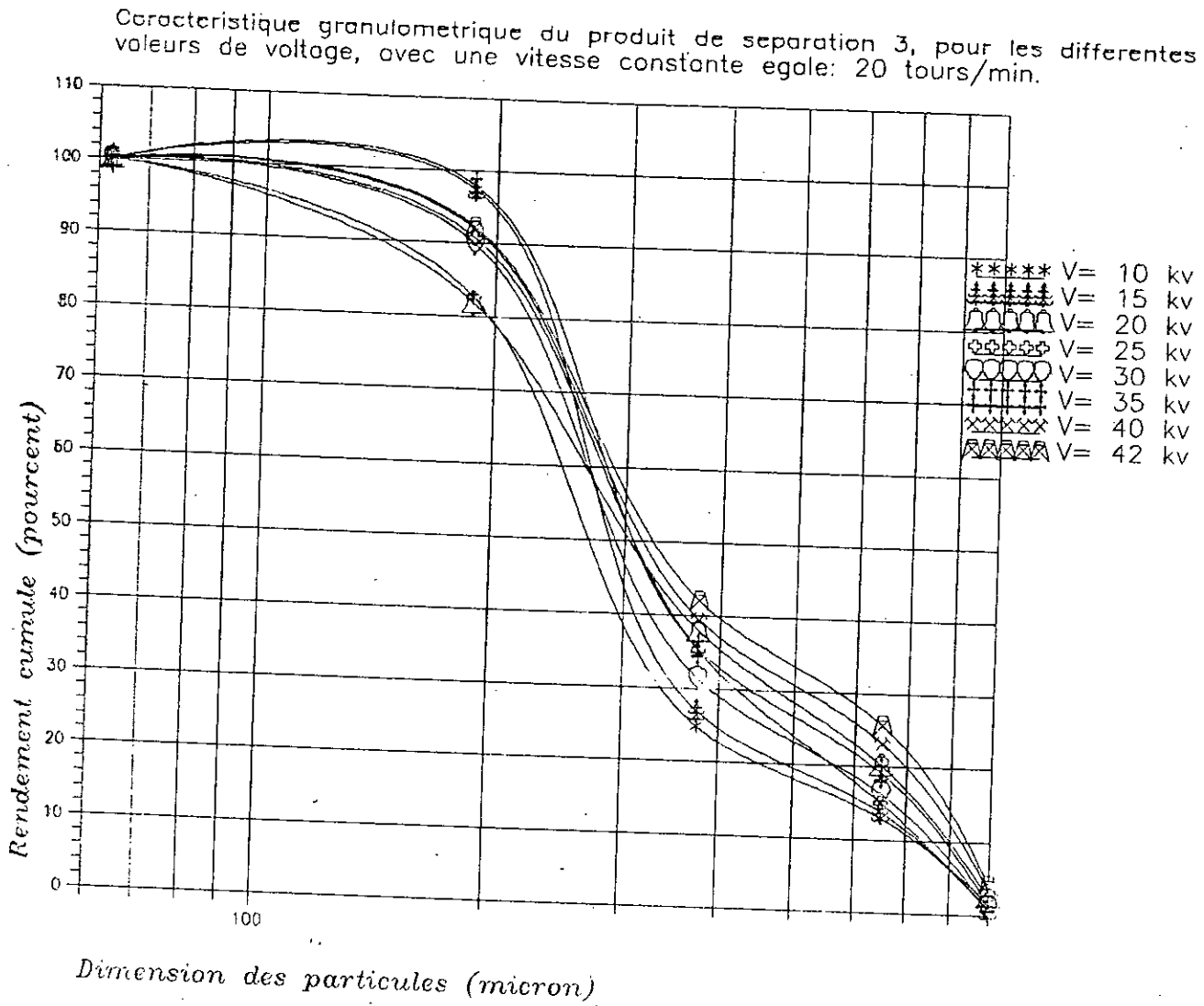


Figure No 13-a: Caractéristiques granulométriques du P3, pour les différentes valeurs de voltage avec une vitesse constante de 20 tours/min.

Tableau N° 24: resultat de tamisage: avec V = 30 tours / min

Produit3: (figure 13-b)

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)									
Classe (mm)	dmoy	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm
1+0,8	900	3,02	1	1,1	1,07	1,68	1	3,73	1,60
0,8+0,5	650	14,13	11,65	14,5	14,98	16,44	17,14	20,36	18,80
0,5+0,25	375	26,53	26,13	27,31	29,26	31,76	31,82	35,29	40,17
0,25+0,125	187,5	85,00	93,71	89,09	95,53	83,44	86,52	89,70	96,68
0,125+0	62,5	100	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99

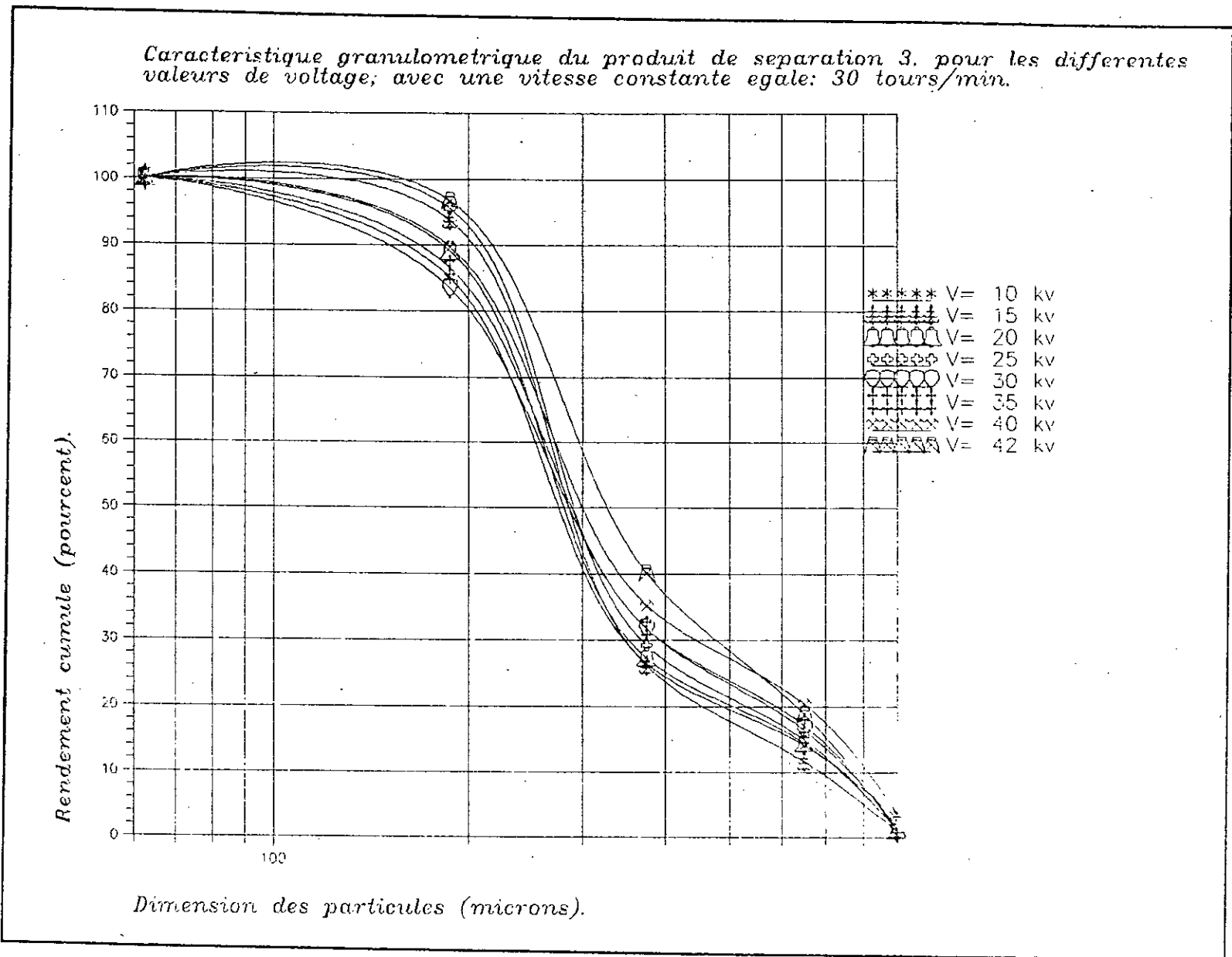


Figure N° 13-b: Caractéristique granulométriques du produit trois pour les différentes valeurs de voltage avec une vitesse constante de 30 tours/min.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau N° 25: resultat de tamisage: avec V = 40 tours / min

Produit3: (figure 13-c)

voltage		10	15	20	25	30	35	40	45
Classe (mm)	dmoy	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm	Rcm
1+0,8	900	0,70	1,1	1,2	1,72	1,07	2,83	3,08	2,98
0,8+0,5	650	13,55	14,48	14,84	16,37	16,74	18,84	22,08	22,03
0,5+0,25	375	26,47	27,64	29,45	34,00	32,16	33,76	36,97	36,75
0,25+0,125	187,5	96,88	95,57	94,59	95,36	84,05	87,13	90,76	90,92
0,125+0	62,5	99,99	100,01	99,99	99,99	99,99	99,99	100	99,99

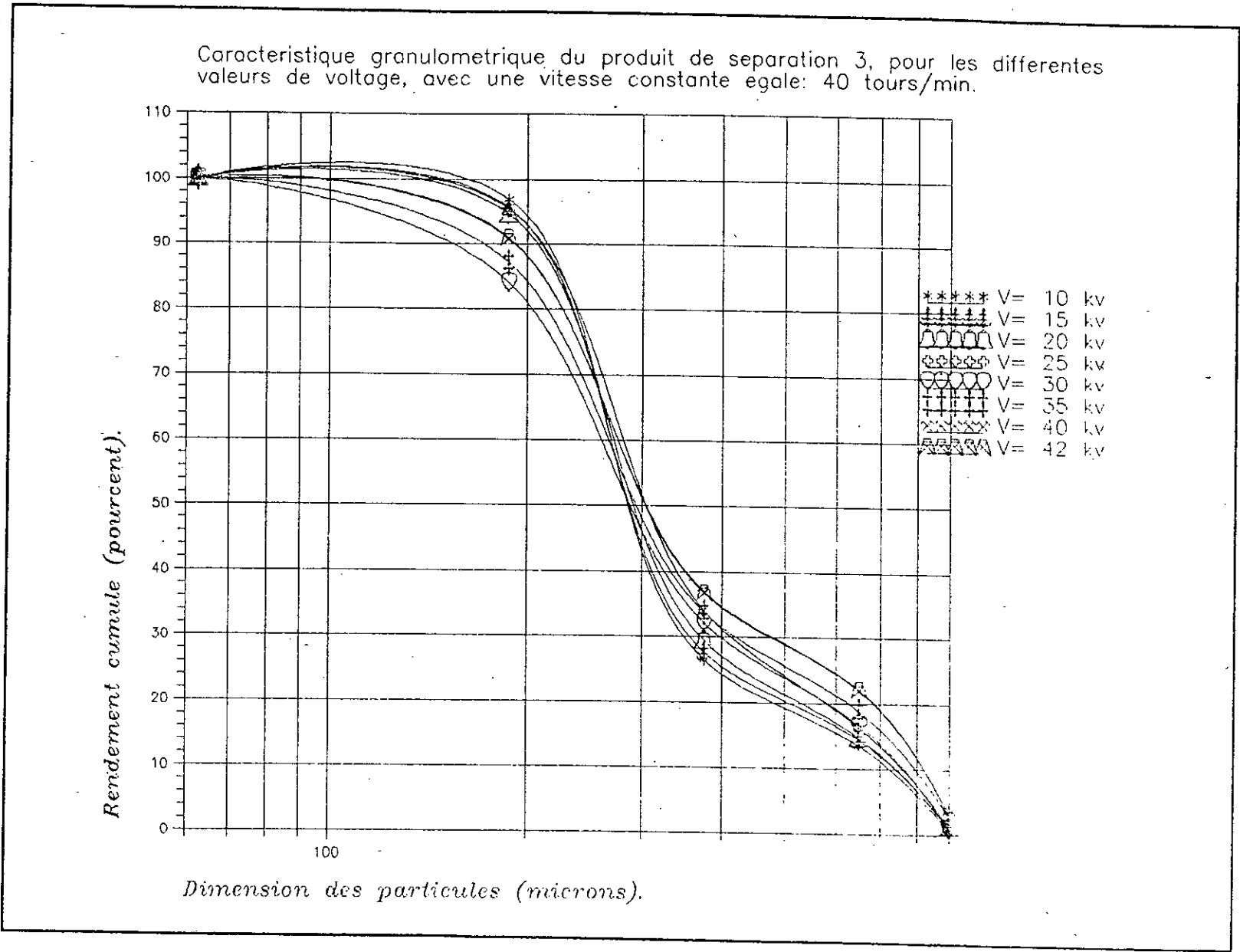


Figure N° 13-c: Caractéristiques granulométriques du produit 3, pour les différentes valeurs de voltage avec une vitesse constante de 40 tours/min.

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Le pourcentage des fines (classes -250+100 et -100+0 microns) dans le produit 1 (P1) pour chaque valeur du voltage et de la vitesse:

Tableau N° 26: Pourcentage des fines (la classe -250+100 microns) dans P1, pour chaque valeur de vitesse , figure N° 14.

Voltage en KV	20 tours/min	30 tours/min	40 tours/min
10	0,53	0,35	0,17
15	0,70	0,35	0,35
20	1,06	0,53	0,53
25	8,48	2,83	3,18
30	11,67	10,43	16,97
35	21,92	17,85	28,64
40	40,13	34,47	43,49
45	47,20	39,25	58,34

Tableau N° 27: Pourcentage des fines (la classe -100+0 microns) dans P1, pour chaque valeur de vitesse, figure N° 14:

Voltage en KV	20 tours/min	30 tours/min	40 tours/min
10	25,34	16,50	25,33
15	33,00	27,70	29,46
20	35,35	34,20	41,83
25	39,50	35,95	43,00
30	44,80	38,30	53,62
35	65,41	56,00	67,76
40	74,25	72,00	81,32
45	75,43	77,78	88,39

Tableau N° 28: Pourcentage des fines dans le produit 1, pour la vitesse 20 tours/min, figure 15.

Voltage en KV	Classe -250+100 microns	Classe -100+0 microns
10	0,53	25,23
15	0,70	33,00
20	1,06	35,35
25	8,48	39,50
30	11,67	44,80
35	21,92	65,41
40	40,13	74,25
45	47,20	75,43

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau N° 29: Pourcentage des fines pour la vitesse 30 tours/min, figure 15.

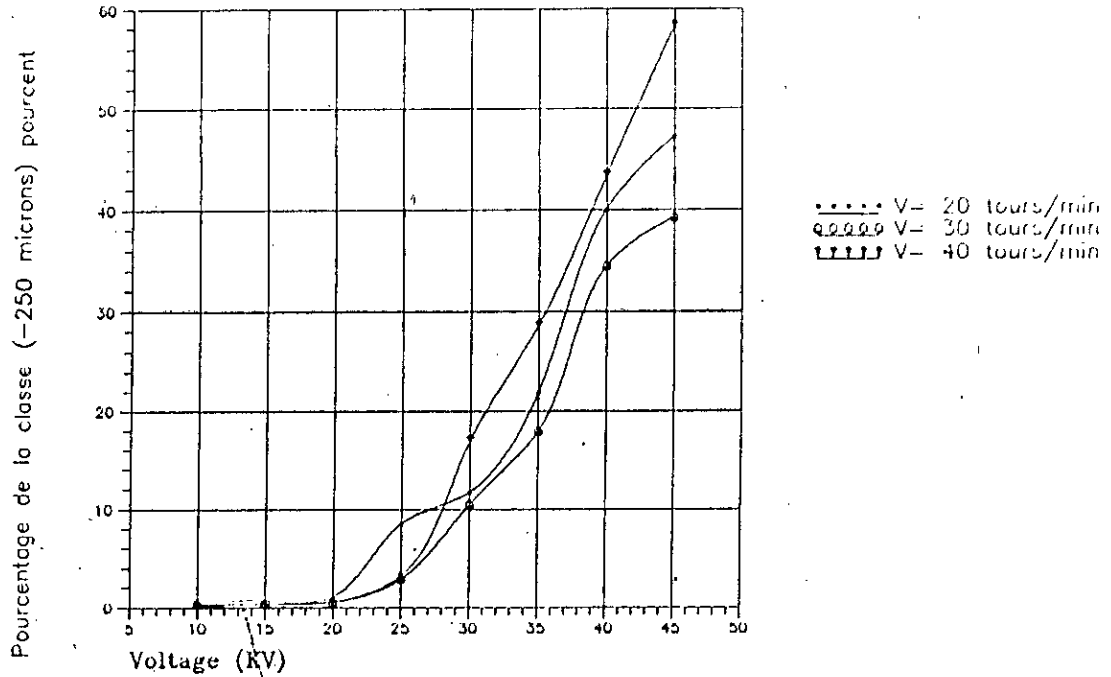
Voltage en KV	Classe -250+100 microns	Classe -100+0 microns
10	0,35	16,50
15	0,35	27,70
20	0,53	34,20
25	2,83	35,95
30	10,43	38,30
35	17,85	56,00
40	34,47	72,00
45	39,25	77,78

Tableau N° 30: Pourcentage des fines dans le produit 1, pour la vitesse 40 tours/min, figure 16.

Voltage en KV	Classe -250+100 microns	Classe -100+0 microns
10	0,17	25,33
15	0,35	29,46
20	0,53	41,38
25	3,18	43,00
30	16,97	53,62
35	28,64	67,76
40	43,49	81,32
45	58,34	88,39

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Le pourcentage de la classe (-250 +100 microns) dans le produit 1 pour les différentes vitesses de rotation du tambour.



Le pourcentage de la classe (-100 +0 microns) dans le produit 1 pour les différentes vitesses de rotation du tambour.

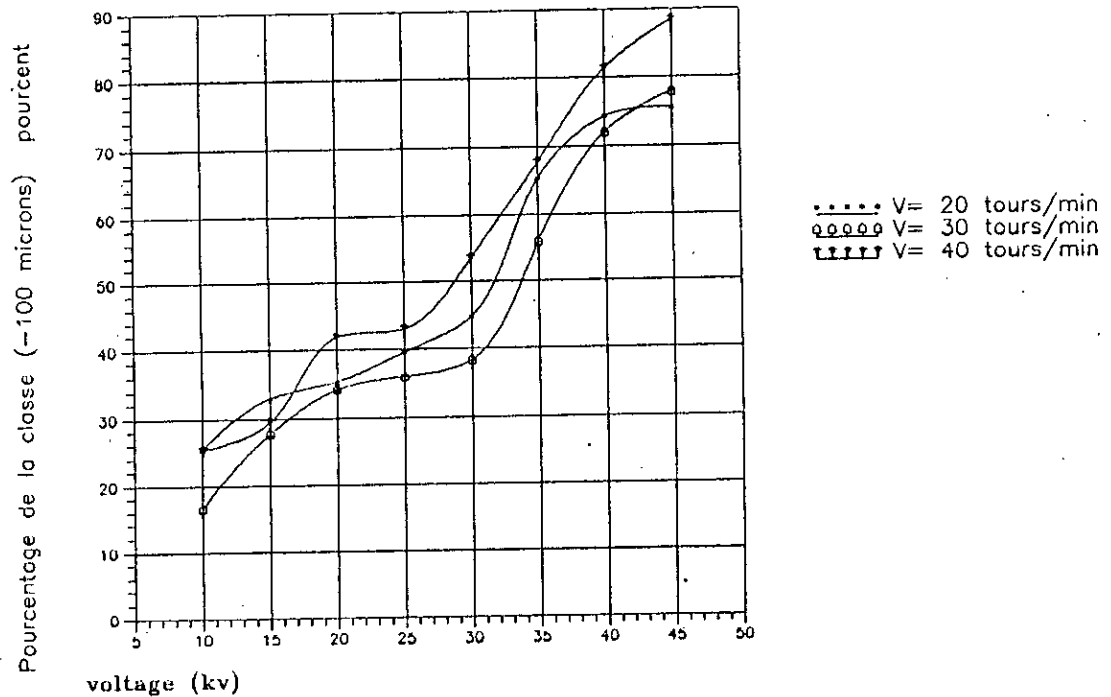
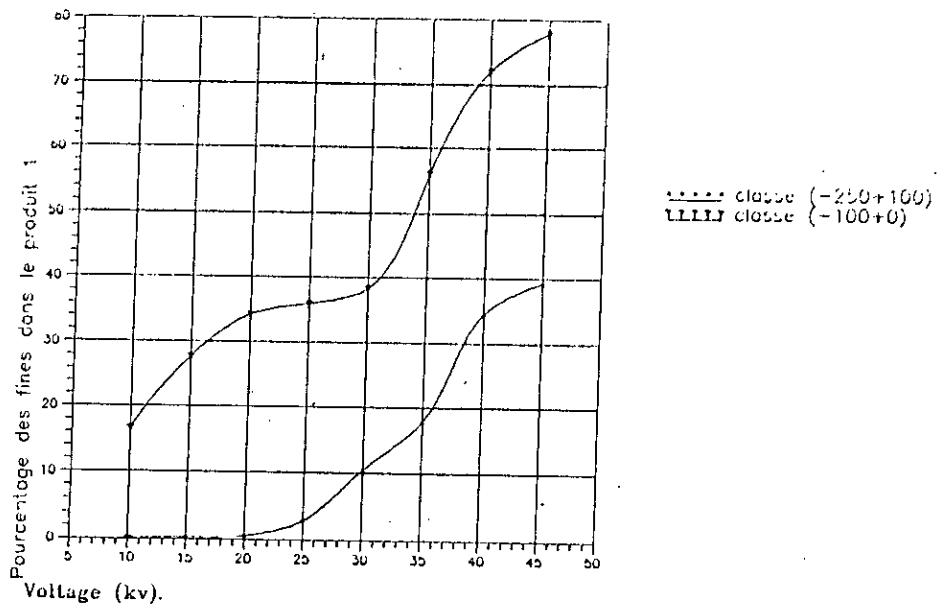


Figure N°14

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Le pourcentage des deux classes (-250+100 et -100+0) dans le produit 1 pour la vitesse $v = 30$ tours/min.



Le pourcentage des deux classes (-250+100 et -100+0) dans le produit 1 pour la vitesse $v = 20$ tours/min.

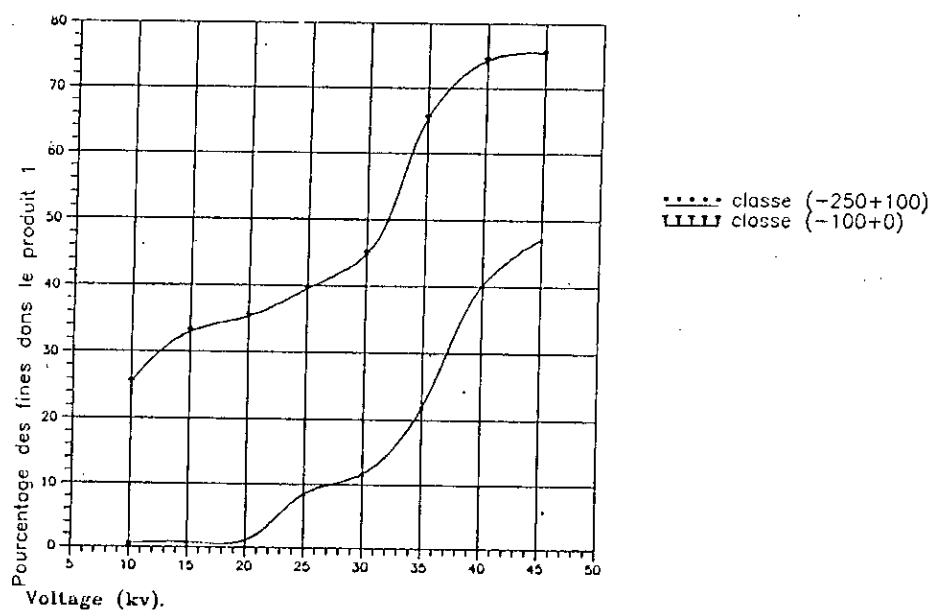


Figure 15.

Le pourcentage des deux classes (-250+100 et -100+0) dans le produit 1 pour la vitesse $v = 40 \text{ tours/min}$.

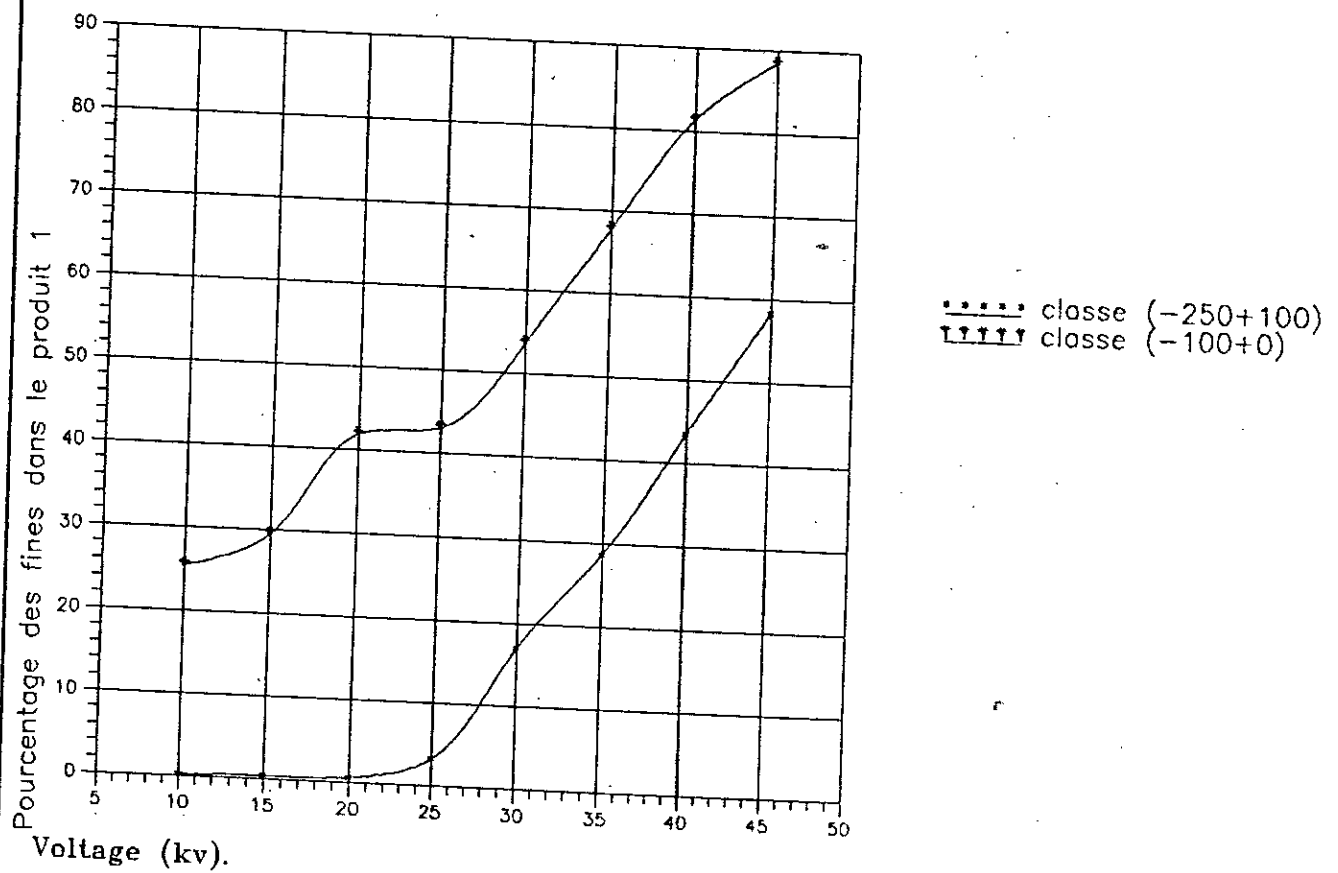


Figure N°16.

Interprétation:

D'après l'analyse de tamisage, le minerai du phosphate de Djebel Onk est constitué par des fractions fines (-250+0 microns) de teneur très faible (stériles), ce qui nécessite leur élimination par un procédé convenable, surtout quand le problème de colmatage de ces classes est parvenu au niveau du criblage.

D'après la figure N°6, on constate que le pourcentage des fines augmente avec la durée de tamisage, ce qui peut être expliqué par le fait que le minerai étudié est hétérogène, de dureté faible (fragile), ce qui laisse les fines à se libérer avec le temps.

L'examen des courbes sur les figures N° 11, 12 et 13 permet de constater qu'il y a un changement dans les rendements poids des produits en fonction de la vitesse et le voltage, cela est expliqué par le fait que quand le voltage et la vitesse de rotation du rotor augmentent, la fraction fine (-125 +0) passe de produit initial aux produits P2 et P1 tout en impliquant un enrichissement du produit restant qui est le produit P3, cela peut être constaté par l'allure des caractéristiques granulométriques du produit P3 et les courbes sur les figures N° 14, 15 et 16 qui donnent le pourcentage des fines dans le produit P1 pour les différentes valeurs du voltage et des vitesses.

Conclusion:

La séparation électrostatique du minerai de phosphate de Djebel Onk est possible dans les conditions de la formation géologique, car cette enrichissement est partiel et a une limite. En effet l'analyse microscopique montre que le mineral utile est déssimilé dans la gangue ce qui nécessite un broyage fin plus poussé pour libérer totalement les grains minéraux et de débarasser par conséquent le minerai marchand du stérile; cela est possible par la séparation physique en utilisant un séparateur électrostatique. Ce procédé, à cause de sa nouveauté demande un développement au futur.

Conclusions

CONCLUSIONS

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

L'analyse minéralogique nous indique que dans ce type de phosphate sédimentaire, le minéral util est très disséminé dans la roche, laissant une petite possibilité pour la séparation par classe (utilisant des cribles ou des cyclones), ce qui veut dire que l'obtention d'un concentré de qualité supérieure ne peut être possible par cette méthode. Pour achever une libération complète du minéral util, un broyage non économique est demandé.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette étude:

- Les meilleurs résultats sont achevés à la vitesse de 30 tours/min et un voltage de 40KV.

Cependant pour chaque tableau un programme de calcul ou modèle mathématique a été élaboré et qui nous permettra de sélectionner les meilleurs teneurs et rendements suivant la formule:

$$P_2O_{5\text{ moy}} = \frac{\sum_i (P_2O_5)_i \times P_i}{\sum P_i}$$

où:

$(P_2O_5)_i$: est la teneur de la classe considérée.

P_i : est le rendement poids de la même classe.

- La position des diviseurs n'influence pas le phénomène survenant dans la séparation électrostatique mais affecte le point de coupure, ainsi que la teneur obtenue par la séparation.
- Pour augmenter la teneur du concentré, un « re-concassage », utilisant la même méthode peut être introduit.
- La qualité de la séparation ne dépend pas des équipements mais de l'aspect minéralogique du minerai.

Remarques finales:

Considerant le prix bas du phosphate dans le marché, il n'est pas nécessaire d'introduire des processus engendrant des dépenses coûteuses.

Les résultats obtenus peuvent être largement achevés à une large échelle, cependant ils sont toujours inférieurs au standart recommandé par l'industrie des engrais.

CONCLUSIONS

Il serait intéressant d'étudier les caractéristiques du concentré obtenu pour la manufacture de l'acide phosphorique.

Le travail expérimental à conduire serait:

- L'étude de la réactivité de la roche.
- L'index de la stabilité de mousse du concentré.
- L'optimisation des variables, tel que:
 - Le rapport entre l'acide sulfurique et le phosphate.
 - Degré d'agitation.
 - Temps de résidence.
 - Température de réaction ...etc

Par comparaison, un phosphate pakistanais a été utilisé à titre d'essai (laboratoire) avec une teneur de 26,1%; nous devons nous demander si un concentré de 27 à 29%, pourra être utilisé seul ou comme diluent (à celui des 35% obtenus autrement).

Bibliographie

- [1]- Diagnostic du secteur minier, rapport N° 2 « Phosphates, pierres décoratives, sel, soufre, potasse). Janvier 1994, EDEMINE.
- [2]- Annales des mines, Janvier 1989, « Les minéraux non-métalliques en France et dans le monde en 1987 », EDEMINE.
- [3]- Métallurgie, « élaboration des métaux », C. Chaussin, G. Hilly, tome 2. Edition Dunod, 1974.
- [4]- Métallurgie générale. J. Bénard, A. Michel, J. Philibert et J. Talbort, Edition Masson et Cie, 1969.
- [5]- Géologie des gites minéraux, Ragin E., Edition Masson et Cie, Paris 1961.
- [6]- Hand Book of mineral dressing, Tagart A., John Wiley and Sons, Newyork 1964.
- [7]- Developpement de la carrière de phosphate de Djebel Onk, thèse de fin d'études, 1972.
- [8]- Traitement du Minerai de Fer barythique de Bou-khadra, Kecira L., thèse de fin d'étude à l'ENP, 1973.
- [9]- Le gisement de phosphate de chaux sédimentaire de Djebel Onk, Kettouca S., thèse 1975-1976
- [10]- Panorama de l'industrie minière, tome 2 « recherche minière, exploration et enrichissement, valorisation minière », Maroc 1990.
- [11]- SME, mineral processing handbook, Volume 1, N. L., american Institute of mining, metallurgical and petroleum enginers, Inc, 1985.

- [12]- Valorisation des minerais, manuel de minéralurgie, Pierre Blazy, Presses Universitaires de France, 1970.
- [13]- Technologie minerale, Winnacker K., tome III deuxième partie., Eyrolles, Paris 1964.
- [14]- Cours de minéralurgie à l'ENP, Saada, 1993.
- [15]- Mécanique de sol, Sanglerat, T1, 1970.
- [16]- Etude de la serie phosphatée tertiaire du Djebel Onk, tomes I, II, Chabo-Mostfefai S. Thèse de Doctorat, 1987.
- [17]- Fiche technique du séparateur électrostatique de l'EREM.
- [18]- Benification of Algerian phosphate tailings by electrostatique methods, M. Ould Hamou. Thèse de Ph.d., Dept. Of mining and mineral engineering, University of Leeds, 1990.