

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE MINIER

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ESSAIS D'ENRICHISSEMENT PAR FLOTTATION
D'UN MINERAI DE PHOSPHATE
(DJEBEL ONK)

Proposé par :

E.RE.M

Boumerdes

Etudié par :

DJAMA

Lotfi

Dirigé par :

M M.ZIBOUCHE

JUIN 91

PROMOTION

وزارة الجامعات
Ministère aux Universités

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE MINIER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ESSAIS D'ENRICHISSEMENT PAR FLOTTATION
D'UN MINERAL DE PHOSPHATE
(DJEBEL ONK)

Proposé par :

E.RE.M

Boumerdès

Etudié par :

DJAMA

Lotfi

Dirigé par :

M M.ZIBOUCHE

PROMOTION JUN 91

A ma chère famille

A tous mes amis

A tous ceux qui, de grec ou de latin nourris,
de faim ont péri

R E M E R C I E M E N T S

Ce travail a été effectué sous la direction de Monsieur Mohamed ZIBOUCHE, qu'il me soit permis de le remercier pour l'avoir mené à terme.

Je tiens à remercier le personnel des départements de valorisation, documentation, chimie et informatique de l'EREM Boumerdès, pour leur collaboration et leur sympathie.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

A tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je présente ma gratitude et ma sympathie

S O M M A I R E

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I : Généralités | 2 |
| Introduction | 3 |
| I.1 Les phosphates minéraux | 4 |
| I.2 Classification des gisements de phosphates..... | 5 |
| I.3 Réserves et production mondiales | 6 |
| I.4 Usages des phosphates | 6 |
| CHAPITRE II : Minéralogie des phosphates | 10 |
| Introduction à la minéralogie | 11 |
| II.1 Valorisation des phosphates | 12 |
| 1.1 Aperçu général | 12 |
| 1.2 Procédés d'enrichissement de minerais de gisement marins à gangue carbonatée | 13 |
| II.2 Application au minerai de Djebel Onk | 13 |
| 2.1 Traitement par voie sèche | 13 |
| 2.2 Traitement par calcination..... | 14 |
| CHAPITRE III : Essai de valorisation du minerai de Djebel Onk par flottation | 15 |
| Introduction | 16 |
| 1 Le procédé de flottation | 17 |
| 1.1 Principe | 17 |
| 1.2 Les réactifs de flottation | 18 |
| 1.3 Les machines de flottation | 18 |
| 2 Application au minerai de Djebel Onk | 19 |
| 2.1 Analyse du minerai tout-venant | 19 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.2 | Technique de flottation | 20 |
| 2.3 | Préparation mécanique de l'alimentation | 21 |
| 2.4 | Essais de flottation | 22 |
| 2.4.1 | Etude de l'influence du collecteur | 22 |
| 2.4.2 | Etude de l'influence du pH | 23 |
| 2.4.3 | Etude de l'influence de l'attrition | 24 |
| | CONCLUSION GENERALE | 25 |

Annexes

Bibliographie

" Remplacer le charbon par l'énergie nucléaire, le bois par les matières plastiques, la viande par les protéines de synthèse et l'isolement par l'amitié, nous pourrions y arriver, il n'y a par contre aucun substitut possible, ni formule de rechange pour le phosphore."

ISAAC ASIMOV

Cette citation traduit bien l'importance du phosphore pour les êtres vivants.

En effet, il n'existe pas de substitut au phosphore de sorte que la seule ressource en phosphore est les gisements de phosphate minéral. Néanmoins, le minerai n'étant pas utilisable à l'état brut, on doit procéder à son enrichissement préalable.

Parmi les méthodes d'enrichissement des minerais, la plus attractive est la flottation et ce pour sa très faible consommation de réactifs et sa récupération élevée.

Pour cela, nous avons essayé d'appliquer cette méthode à l'enrichissement du minerai phosphaté du gisement Djebel Onk.

C H A P I T R E I

-INTRODUCTION :

Selon un manuscrit du XII^e siècle, un alchimiste arabe nommé Rachid El Bechlil (1) réussit à extraire des urines, une substance aux propriétés remarquables, (luisant dans l'obscurité et s'inflammant au contact de l'air), qui n'avait pas encore été baptisée phosphore (*).

Ce n'est qu'en 1669 que le phosphore fut redécouvert accidentellement par l'alchimiste allemand Henning Brandt (2), qui cherchait à extraire la pierre philosophale de l'urine humaine. Mais en 1769, Scheele (3) montra que le phosphore est un constituant des os : 60 %, et dès l'année suivante il mit au point un procédé de préparation du phosphore à partir de ces derniers.

* phosphoros : Qui porte la lumière

Nom que les anciens Grecs avaient donné à l'étoile du matin, revenait dans le monde pour y dénommer et qualifier tout à la fois, un élément fondamental.

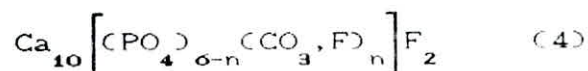
-I-1/LES PHOSPHATES MINÉRAUX :

Le phosphore existe dans la nature sous forme de phosphates minéraux dont les plus répandus sont (d'après Rose (1)) :

- l'apatite : $3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3 + \text{CaF}_2$.
- La wagnérite : $(\text{PO}_4)_2\text{Mg}_3 + \text{MgF}_2$.
- La sturvite : $\text{PO}_4\text{MgNH}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$.

Dans les phosphates sédimentaires qui représentent 90 % des réserves mondiales, les phosphates sont cryptocristallins, et les minéraux qui les composent appartiennent à la série de l'apatite .

Le minéral le plus fréquent est la fluorapatite, qui peut s'écrire schématiquement $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, mais des substitutions conduisent souvent à une formule du type :



D'autres substitutions sont possibles : PO_4 par SO_4 , F par OH ou Cl , Ca par Sr , Na , U , Th ou par des terres rares .

La teneur en phosphates dans les minerais s'exprime en pourcentage d'anhydride phosphorique P_2O_5 , ou de son équivalent de phosphate tricalcique $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, que l'on désigne par B.P.L (bone phosphate of lime), ou T.P.L (triphosphate of lime).

L'anhydride phosphorique prend naissance toutes les fois que l'on fait brûler dans l'air ou l'oxygène, un composé phosphoré combustible .

Il est utile de souligner que la teneur moyenne de l'écorce terrestre en P_2O_5 est de 0.27 % (4) . Les gisements renferment souvent des centaines de milliers de tonnes de minerais titrant généralement plus de 25 % P_2O_5 .

Les phosphates d'origine ignée (roches de 35 à 37 % P_2O_5) se rencontrent sur des terrains très anciens, résultant d'intrusions de magma dans les roches cristallines sous forme de veines ou de filons.

Les phosphates sédimentaires d'origine marine (dépassant rarement les 29 % P_2O_5) sont le résultat de la précipitation de phosphore sous forme de phosphate de calcium dans les eaux superficielles. Ce phosphore, sous forme d'ions HPO_4^{2-} , a été amené par des courants ascendants le long des pentes continentales.

Ce phénomène connu sous le nom d'"upwelling" est particulièrement bien représenté dans la zone intertropicale, le long de la côte ouest des continents, dans l'hémisphère nord, sous l'influence de la force de Coriolis (6).

I-2/CLASSIFICATION DES GISEMENTS DE PHOSPHATES :

La classification des gisements de phosphates adoptée plus généralement l'origine globale du corps phosphaté. Donc, pour des raisons d'ordre génétique d'abord puis de localisation géologique mondiale, pétrographique, cristallographique et géologique, la classification suivante a été adoptée (Blazy et Champetier, 5) :

1) - Gisements endogènes :

Complexes ignés alcalins et carbonatites.

2) - Gisements supergènes :

- Gisements d'origine marine :

Phosphates sédimentaires marins.

- Gisements continentaux :

- Gisements de phosphorites type Quercy.

- Néoformations continentales type Bakouma.

- Gisements de guano.

-I-3/RESERVES ET PRODUCTION MONDIALES EN PHOSPHATES MINERAUX :

Les réserves mondiales en minerais de phosphates titrant à 30 % P_2O_5 sont estimées à 560.10^3 millions de tonnes (5) .

Les réserves et productions mondiales ont été estimées approximativement suivant les types de gisement comme suit(5) :

| | Réserves | Production |
|--------------------------|----------|------------|
| -Gisements sédimentaires | | |
| d'origine marine..... | 90 % | 80 % |
| -Gisements ignés..... | 6-7 % | 15 % |
| -Gisements guano..... | 4-3 % | 5 % |

-Les ressources mondiales par pays ,identifiées en 1979 sont citées dans le tableau I en annexe I (4) .

-L'évolution de la production mondiale en minerais phosphatés par pays producteur ,de 1970 à 1983 est donnée par le tableau II en annexe I (5) .

D'après ces données , on remarque que le marché mondial du phosphate est dominé par trois pays producteurs :Etats-unis , URSS , Maroc .Ces trois pays assurent à eux seuls près de 70 % de la production mondiale .

-I-4/USAGE DES PHOSPHATES NATURELS :

Les eaux de drainage et la terre arable renferment de l'acide phosphorique HPO_3 en faibles quantités, soit à l'état de sels minéraux ,soit en combinaison complexe avec la matière azotée du sol ;cet acide est indispensable au développement des végétaux ce qui explique l'importance du rôle du phosphate comme engrais ,de ce fait ,le développement de l'industrie du phosphate est traditionnellement et étroitement lié à celui de l'agriculture .

Néanmoins , l'agriculture n'est pas la seule industrie utilisatrice de phosphates dont les usages sont nombreux et variés , (détergents, métallurgie , industrie pharmaceutique , pétrolière, alimentaire, textile) comme le montre le tableau III en annexe I .

La consommation annuelle mondiale en anhydride phosphorique est estimée à 30 millions de tonnes dont 90 % destiné à l'agro-alimentaire et 10 % au reste de l'activité industrielle (5) .

-ENGRAIS PHOSPHATES :

Le phosphore tel qu'il se trouve dans le minerai phosphaté enrichi (sous forme d'apatite ou de phosphate tricalcique) n'est pas assimilable par les plantes , car insoluble dans l'eau . Il faut détruire l'édifice moléculaire et le transformer en phosphate monocalcique $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$ soluble .

Pour cela , on procède par une attaque acide sur le phosphate minéral . Nous obtenons ainsi suivant le mode d'attaque et l'acide utilisé un large éventail de substances chimiques riches en P_2O_5 et utilisable en agriculture .

Néanmoins , certains phosphates broyés finement à une granulométrie de cinquante microns sont utilisables directement comme engrais , sous certaines conditions :

-phosphates tendres , poreux , très fins , en terres acides dans un climat humide .

Les produits issus de l'attaque acide sont appelés superphosphates car riches en P_2O_5 . On dénombre :

-1)-Superphosphate simple :

Titrant à 18 % P_2O_5 , résulte d'une attaque par l'acide sulfurique sur un phosphate moyennement riche .

-2)-Superphosphate double :

Titrant à 35 % P_2O_5 , on utilise pour l'attaque acide un mélange d'acide sulfurique et phosphorique .

-3)-Superphosphate triple :

Titrant à 48 % P_2O_5 , on utilise pour l'attaque acide de l'acide phosphorique .

En utilisant de l'acide super phosphorique (acide phosphorique concentré), on obtient un superphosphate titrant à 55 % P_2O_5 .

-4)-Phosphate nitrique :

Obtenue en utilisant pour l'attaque l'acide nitrique ou un mélange d'acides nitrique ,sulfurique et phosphorique .

-5)-Phosphate bicalcique : $(CaHPO_4)_2 \cdot H_2O$.

Titrant de 38 à 40 % P_2O_5 , résulte d'une attaque par l'acide chlorhydrique .

Il convient de signaler que le degré de pureté de ces produits, dépend de la nature du phosphate utilisé et de la méthode d'enrichissement qu'il a subi .

- Par ailleurs ,les phosphates représentent une source d'éléments potentiellement valorisables , tels que :F,U ,terres rares ,extractibles dans la filière de production des engrais.

... les ...
... les ...
... les ...

... les ...
... les ...
... les ...

C H A P I T R E II

... les ...
... les ...
... les ...

P I G O N V E N I S

INTRODUCTION A LA MINERALURGIE :

En général, les minéraux utiles ne se trouvent pas dans la nature à l'état natif, ils se rencontrent sous forme de combinaisons chimiques souvent complexes, mélangées à des roches stériles que l'on appelle gangue. C'est cet ensemble qui constitue le minerai.

Industriellement, le minerai est défini comme étant tout produit minéral valorisable, c'est à dire dont on peut extraire des minéraux utiles à un prix de revient convenable.

La valorisation des minerais ou minéralurgie a toujours été une étape très importante dans l'industrie de transformation du minerai tout-venant.

Cette discipline regroupe un ensemble de procédés fondamentaux dont le but est d'aboutir à un concentré de minerais utiles à partir d'un tout-venant de mine.

Les opérations de concentration sont généralement réalisées en trois stades :

-Le premier stade est appelé comminution, il s'agit de libérer les minéraux utiles de leur gangue, par différents procédés de fragmentation. Ces opérations sont couplées à des opérations de classification granulométrique, visant à réaliser des coupures économiques ou à calibrer le minerai pour le préparer à subir un procédé de traitement déterminé.

-Au deuxième stade, les éléments à valoriser sont séparés de leur gangue par des procédés dits de concentration, basés sur les propriétés physico-chimiques des minéraux.

-Au troisième stade, il s'agit de récupérer le minerai enrichi et d'évacuer les stériles (8).

II-1/ VALORISATION DES PHOSPHATES :

II-1-1/ APERÇU GENERAL :

-Le traitement des minerais de phosphate a pour objectif principal la production de concentrés utilisables dans l'industrie des engrais phosphatés, qui rentre pour 90% dans la consommation mondiale de phosphates.

-Les spécifications de qualité de ces concentrés portent sur la teneur minimale en P₂O₅ qui est de 30%, les teneurs maximales en chlorures, sulfures et matières organiques, la teneur maximale en MgO qui est de 0.4 à 0.8%; les valeurs maximales des rapports pondéraux : $(Fe_2O_3 + Al_2O_3 + MgO) / P_2O_5 < 0.09$ et $CaO / P_2O_5 < 1.60$ (9).

-Pour répondre à ces spécifications sur des produits à valeur marchande modérée (30 à 40 \$/t), les opérations de traitement impliquent généralement des procédés d'enrichissement par voie physique.

Du procédé le plus simple au plus compliqué on peut distinguer :

-Simple séchage de minerai riche : élimination de l'eau. Exemple: Khouribga, Sidi daoui au Maroc.

-Enrichissement par voie sèche : élimination des fines peu phosphatées . Exemple : partie du phosphate de Djebel Onk en Algérie.

-Classement granulométrique et lavage : élimination des fractions fines ou grossières plus ou moins phosphatées, renferment des impuretés pénalisantes telles que CaO, MgO. Ce type de traitement est très courant.

-Flottation simple ou double, essentiellement destinée à éliminer le sable quartzéux. Exemple : tous les phosphates de Floride et de Caroline, phosphate de Taiba au Sénégal. La flottation des minerais sédimentaires carbonatés étant difficile à réaliser, il n'y a actuellement aucune installation industrielle de ce type, par contre, la flottation des carbonates est couramment utilisée dans les phosphates ignés.

-Calcination plus ou moins poussée pour éliminer la matière organique et le carbonate de chaux .

-Les minerais d'origine ignée à gangue silicatée ou carbonatée présentent le plus souvent une bonne aptitude à la concentration pour des teneurs initiales de 4 à 5% P₂O₅ .Par contre, les minerais sédimentaires sont plus difficiles à enrichir, pour des teneurs minimales de 7 à 15% P₂O₅ (9), notamment les minerais à gangue carbonatée, qui représentent environ 75% des réserves mondiales en phosphates.

En raison de l'importance de ces réserves, de l'épuisement progressif des réserves de minerais de meilleure qualité et de la croissance de la consommation mondiale, il semble inévitable que dans l'avenir, une grande partie du phosphate marchand soit réalisée à partir de minerais carbonatés . Ajouté à cela le fait que le seul gisement exploité en Algérie (Djebel Onk) produit un phosphate très carbonaté, l'intérêt particulier porté sur l'enrichissement des phosphates carbonatés dans ce qui suit, est bien justifié.

II-1-2/ PROCÉDES D'ENRICHISSEMENT DE MINÉRAIS DE GISEMENTS MARINS A GANGUE CARBONATÉE :

-Ce type de minerai présente en général une aptitude médiocre à l'enrichissement . Ceci est dûe a sa forte teneur en CO₂. Pour donner un ordre de grandeur, on peut dire que le problème se pose a partir de 6 à 8% CO₂ (10).

-Dans ces types de minerai, une confusion a été faite pendant longtemps sur la nature de l'endogangue, on a cru abusivement a une endogangue carbonatée importante alors qu'elle est généralement peu représentée (11) .

-Le problème consiste a libérer les particules phosphatées, donc a éliminer l'exogangue :

S'il s'agit d'un ciment calcique, la voie humide par débouillage, attrition et lavage peut être une solution .

La voie sèche peut apporter de sensibles améliorations, soit au niveau de la fragmentation : broyage autogène, concassage par impact, soit au niveau du séchage : séchage dynamique .

S'il s'agit d'une gangue grossière et indurée, il peut être proposé une calcination suivie d'un lavage .

La flottation fait aussi l'objet de recherches intensives, et bien que des résultats excellents aient été déjà obtenus au laboratoire, l'application industrielle n'est pas encore probante .

II-2/ APPLICATION AU MINÉRAI DE DJEBEL ONK :

Le gisement de Djebel Onk fait partie des gisements du bassin de Gafsa, il est situé a 80km au sud-ouest de Tébessa, ses réserves sont évaluées à 300 millions de tonnes de minerai phosphaté a gangue très carbonatée titrant de 24 a 27.5% P₂O₅ . La matière phosphatée est présente dans les particules sous forme de fluorapatite carbonatée .

II-2-1/ TRAITEMENT PAR VOIE SECHE :

Une partie du minerai du Djebel Onk, principalement argilo-dolométique titrant a 25.6% P₂O₅, 10% CO₂, 2.68% MgO (9), subit un traitement par voie sèche, par une combinaison de concassage, criblage a 8mm, séchage-attrition-dépoussiérage primaire en sécheur a lit fluidisé, classification a 2mm, broyage attritif de la fraction -2mm, dépoussiérage a environ 100 microns par sélecteurs pneumatiques a lamelles Raynaud, criblage complémentaire a 0.8mm .

Le concentré dépoussiéré -0.8mm titre a environ 29.5% P₂O₅, 7% CO₂, 1.3% MgO pour une récupération d'environ 67% P₂O₅ . Le schéma de traitement est porté en annexe I (9).

L'élimination très rapide de l'eau, associée a une attrition énergique des particules, paraissent constituer des facteurs favorables a une excellente libération et un bon nettoyage des éléments phosphatés lors d'un traitement a sec .

II-2-2/ TRAITEMENT PAR CALCINATION :

Ce procédé est appliqué a une partie de minerai de Djebel-Onk, l'usine utilise trois calcinateurs a lit fluidisé, d'une capacité unitaire de 50t/h, comportant chacun trois compartiments : séchage-préchauffage, calcination, refroidissement.

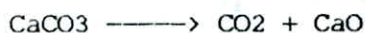
L'alimentation titre de 24.2 a 26.5% P2O5, 10% CO2 (10).

Le procédé comporte trois étapes :

1- Prétraitement par voie humide : débourbage, déschlammage, pour éliminer les minéraux porteurs des oxydes clinkérisables tels que Al2O3, Fe2O3, SiO2, argiles. Le prétraitement nous donne un produit titrant a 28.4% P2O5.

2- Calcination a une température de 850 a 900 degrés C, nécessaire à la dissociation des carbonates de l'exogangue et de l'endogangue.

Ceci correspond a une décarbonatation de la dolomite puis de la calcite , suivant les réactions :



Cette calcination porte la teneur du concentré à environ 31.8% P2O5 .

3- Post-traitement comprenant :

-L'hydratation de la chaux et de la magnésie libre contenues dans la décharge du four pour favoriser leur dissolution dans l'eau de lavage :



-Attrition et déschlammage .

A la fin de cette étape nous obtenons un concentré titrant à environ 33.9% P2O5 0.90 MgO pour une récupération de 55% P2O5 (9).

- La capacité théorique de l'unité de calcination est de 900.000t/an de produit fini.

En fait, les difficultés de mise au point se sont manifestées, aussi bien dans la calcination que dans les post-traitements de sorte que la production n'a pas dépassé les 400.000t/an .

... of the ...
... of the ...
... of the ...

... of the ...
... of the ...
... of the ...

... of the ...

... of the ...
... of the ...
... of the ...

... of the ...
... of the ...

CHAPTER III

... of the ...
... of the ...

... of the ...
... of the ...

...

INTRODUCTION :

Parmi les ressources de P_2O_5 , environ 9 milliards de tonnes seraient liées à des minerais enrichissables par les procédés minéralurgiques usuels, alors que 27.5 milliards de tonnes seraient contenues dans les minerais carbonatés, considérés comme potentiellement valorisables par le seul procédé de calcination (9).

Cette répartition montre qu'il est indispensable de développer des procédés efficaces d'enrichissement moins coûteux que la calcination, afin de valoriser les énormes réserves de minerais sédimentaires à gangue carbonatée qui devront être nécessairement exploités dans l'avenir pour subvenir aux besoins croissants de la fertilisation .

La séparation carbonates-phosphate par flottation dans les minerais sédimentaires apparaît techniquement et économiquement comme la plus attractive, elle a fait l'objet de nombreuses recherches au niveau laboratoire et pilote .

Pour le minerai de Djebel Onk, cette méthode est très avantageuse par rapport à la calcination qui pose des problèmes d'entretien, de consommation d'eau, d'énergie et de grandes pertes en éléments phosphatés dans les rejets.

III-1/ LE PROCÉDE DE FLOTTATION :

III-1-1/ PRINCIPE :

Le procédé de flottation est basé sur l'étude des propriétés des interfaces solide-liquide-gaz .

Il consiste à rendre hydrophobes les surfaces de certaines espèces minérales alors que les surfaces d'autres espèces sont rendues hydrophiles.

les minéraux présentant des surfaces hydrophobes se fixent à l'interface air-liquide . Cet interface est représenté par la surface d'une bulle d'air insufflée dans la pulpe . Par contre les minéraux présentant des surfaces hydrophiles restent au sein de cette pulpe .

Il en résulte un transport sélectif dû au deversement d'une mousse créée par l'agglomération de bulles minéralisées . Ce procédé est connu sous le nom de flottation par écume .

III-1-2/LES REACTIFS DE LA FLOTTATION :

-LES COLLECTEURS :

Ce sont des composés chimiques qui en s'adsorbant sur les surfaces minérales, leur confèrent la propriété hydrophobe .

On distingue :

- Les collecteurs inorganiques .
- Les collecteurs organiques : se présentant sous forme de longues chaînes carbonées tels que les esters, alcools, acides gras et amines .

Ces réactifs une fois dissociés dans l'eau dans certaines conditions de pH, trouvent la partie polaire de leur molécule se charger positivement ou négativement, d'où leur nom de réactifs cationiques ou anioniques .

Dans le cas des réactifs inorganiques, l'adsorption sur les surfaces minérales est contrôlée par des forces électrostatiques .

Pour les collecteurs organiques, le phénomène devient plus complexe en faisant intervenir en plus, un mode d'adsorption chimique .

- LES ACTIVANTS ET DEPRIMANTS :

Ces réactifs, généralement non organiques, sont utilisés dans la flottation sélective, soit pour permettre la fixation du collecteur sur une surface minérale, il s'agit alors d'activants, soit pour empêcher cette fixation, il s'agit alors de déprimants .

- LES MOUSSANTS :

Leur fonction principale réside dans la formation d'une écume stable . Ils agissent aussi sur la distribution des bulles dans la pulpe et sur leur vitesse d'ascension .

Ce sont généralement des composés organiques . Les moussants les plus courants sont : l'huile de pin ou flotol, le crésol ou acide crésylique et les alcools.

III-1-3/ LES MACHINES DE FLOTTATION :

Une machine de flottation a pour but principal :

- D'aérer la pulpe d'une façon aussi complète que possible
- D'assurer une dispersion homogène des solides dans la pulpe .

Suivant le mode d'agitation de la pulpe, on distingue :

- Les machines a rotor en cage d'écureuil et les machines a turbines, plus courantes .
- Les machines pneumatiques qui sont de moins en moins utilisées .

III-2/ APPLICATION AU MINERAIS DE DJEBEL ONK :

III-2-1/ ANALYSE DU MINERAI TOUT-VENANT :

- MINERALOGIE :

- L'analyse minéralogique du minerai de Djebel Onk a permis de mettre en évidence les minéraux suivants (12) :

- Phosphates : apatite
- Carbonates : calcite, dolomite
- Sulfates : gypse, célestite, barytine
- Sulfures de fer : pyrite, marcassite
- Oxydes et hydroxydes de fer : hématite, goethite
- Silice libre : quartz, opale
- Silice combinée : minéraux argileux, clinoptilolite, feldspaths

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE :

-L'analyse granulométrique a été effectuée sur un échantillon de minerai tout-venant ayant subi un concassage au dessous de 20mm .

Les résultats sont représentés dans les tableaux 1,2 et 3 et par les graphes 1 et 2 portés en annexe II .

D'après ces résultats, on peut conclure que le minerai de Djebel Onk est à gangue calcito-dolomitique à dominance calcitique .Il possède en outre une forte teneur en oxyde de magnésium .

Par conséquent, le procédé d'enrichissement prévu doit se fixer pour objectif de diminuer la teneur du minerai en carbonate de chaux et en magnésium

Vis a vis de la consommation d'acide sulfurique, le rapport CaO/P2O5 est le paramètre majeur car non seulement il détermine la consommation d'acide, mais aussi la quantité de gypse à filtrer. Ce rapport doit être compris entre 1.4 et 1.6.

La présence de magnésium est défavorable car il augmente la viscosité de l'acide phosphorique, notamment lors de sa concentration par voie thermique, jusqu'à former un gel impropre à sa mise en oeuvre ultérieure .

III-2-2/ TECHNIQUE DE FLOTTATION :

La difficulté d'appliquer la flottation à un minerai à gangue carbonatée réside dans les caractéristiques électrochimique et de chimie de surface qui sont très voisines pour tous les minéraux du calcium .

On a opté pour la flottation inverse des phosphates car elle paraît beaucoup plus prometteuse que la flottation directe (5) .

REACTIFS DE FLOTTATION :

- Le collecteur employé est préparé à partir de tall oil : mélange d'acides gras, acide rosinique et de matériaux non saponifiables .
- Composition massique du tall oil ou pamak 4 :
 - Acide oleïque ----- 42.2 %
 - Acide linoléique ----- 41.6 %
 - Acide rosinique ----- 3.5 %
 - Non saponifiables ----- 4.0 %
- Composition massique du collecteur utilisé :
 - Pamak 4 ----- **10.0** %
 - Emudal ----- 0.5 %
 - Eau ----- 89.5 %
- Pour empêcher la flottation des phosphates, on agit sur le pH en employant de l'acide sulfurique comme régulateur du milieu .
- Dans notre cas, la flottation n'exige pas l'emploi d'un moussant, la formation des mousses étant assurée par le collecteur lui-même .

MACHINE DE FLOTTATION :

Pour les essais, la machine utilisée est un modèle à turbine de type DENVER, conçu pour les essais au laboratoire et dont la capacité est de un litre .

Le schéma de la cellule de flottation est représenté en annexe II .

III-2-3/ PREPARATION MECANIQUE DE L'ALIMENTATION :

- CONCASSAGE ET BROYAGE :

Afin de libérer les particules phosphatées de leur exogone, une préparation mécanique : concassage et broyage, s'avère nécessaire .

D'après les résultats de l'analyse granulométrique du tout-venant et de la répartition du P₂O₅ dans les différentes classes, on a opté pour un concassage et broyage à circuit fermé, car le rejet des classes grossières entrainera des pertes en P₂O₅ non justifiables .

- Le minerai sera d'abord concassé dans un concasseur à mâchoires à -1mm, puis broyé dans un broyeur à boulets à -0.5mm .

Pour une granulométrie supérieure à 0.5mm, en flottation, la récupération chute rapidement (8) .

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU PRODUIT BROYE :

Les résultats de cette analyse sont portés dans les tableaux 4 et 5 et représentés par le graphe 3, annexe II .

CONCLUSION :

- On constate un rendement en poids de 16.33 % de la classe inférieure à 42 microns .

- La répartition des éléments CaO, MgO, PAF dans cette classe est assez importante et correspond respectivement à 11.06% , 44.10% et 23.73% , alors que les pertes en P₂O₅ y sont faibles : 8.32%, d'où l'intérêt d'un déschlammage humide à 42 microns, qui élimine aussi les argiles, d'autant plus que les fines particules gênent la flottation et augmentent la consommation des réactifs .

D'un tout-venant titrant à 26.16% P₂O₅, 44.51% CaO, 2.02% MgO et 12.83% PAF le déschlammage, après concassage et broyage, nous a permis d'obtenir un pré-concentré titrant à 28.94% P₂O₅, 47.67% CaO, 1.26% MgO et 11.75% PAF, avec une récupération de 90.85% P₂O₅ (cf annex V analyses chimiques) .

- La teneur en PAF correspond approximativement à celle de la dolomie, qui a diminué, de même que pour la teneur en MgO .

- On remarque une hausse de la teneur en CaO, cette augmentation est due à la présence de calcium dans la maille apatitique et aux pertes très voisines en CaO et P₂O₅ dans les schlammes . Donc, en augmentant la teneur en P₂O₅ dans ce cas, on augmente aussi celle du CaO.

III-2-4/ ESSAIS DE FLOTTATION :

III-2-1-4/ ETUDE DE L'INFLUENCE DU COLLECTEUR :

-Dans ces essais, on se fixe pour but de déterminer la quantité optimale de collecteur . Nous avons fait varier la quantité de 1 a 3 Kg/t .

MODE OPERATOIRE :

-Avant de procéder a la flottation, l'alimentation a été soumise, pour un temps de 5 minutes à la concentration solide de 70% en poids et en ajoutant 1Kg/t d'acide sulfurique, à une opération d'attrition énergique dans la cellule de flottation même, à une vitesse de rotation de 1500 tr/minute . Après, on a procédé a un deschlammage .

Cette opération a pour but de nettoyer la surface des particules phosphatées pour empêcher leur flottation avec les carbonates .

- La pulpe est ensuite conditionnée a 30% solide, pendant 2 minutes, d'abord avec 1Kg/t d'acide sulfurique pour réguler le milieu a environ pH=5, puis avec la quantité voulue de collecteur .

- La flottation proprement dite a été effectuée pendant 5 minutes pour chaque essai .

- Les résultats de ces essais sont portés dans le tableau 6 et représentés par le graphe 4, annexe II .

INTERPRETATION :

- Le graphe 4 nous montre que la teneur en P2O5 dans le concentré augmente avec la quantité de collecteur utilisée, par contre, la récupération diminue .

- La teneur en P2O5 dans les carbonates augmente aussi avec la quantité de collecteur .

Ceci montre qu'en utilisant des quantités excessives de collecteur, on augmente les pertes en P2O5 dans le flotté .

CONCLUSION :

D'après les résultats de ces essais, la quantité optimale de collecteur, où la teneur et la récupération dans le concentré sont maximales, est de 2Kg/t.

III-2-4-2/ ETUDE DE L'INFLUENCE DU PH :

-Dans ces essais, on étudie l'influence du pH du milieu sur la récupération et la teneur en P2O5 dans les concentrés .

-Le pH a été fixé aux valeurs suivantes : 4.3, 4.5, 4.7, 5, 5.3 .

Pour ces valeurs, les quantités d'acide correspondentes sont respectivement : 1.20Kg/t, 0.90Kg/t, 0.69Kg/t, 0.39Kg/t, 0.10Kg/t .

-La quantité de collecteur utilisée est de 2Kg/t .

Le mode opératoire est le même que pour les essais précédent, en ajoutant graduellement les quantités d'acide citées ci-dessus .

-Les résultats de ces essais sont portés dans le tableau 7 et sur le graphe 5, annexe II.

INTERPRETATION :

-Sur le graphe 5, on constate que la teneur en P2O5 dans les concentrés diminue et que les récupérations augmentent avec la diminution du pH .

-A la valeur pH=4.3, le rendement en poids des carbonates est très faible, ceci montre que la flottation est inhibée .

-A la valeur pH=5.3, le rendement en poids des carbonates est élevé, néanmoins leur teneur en P2O5 est grande .

A cette valeur de pH, la flottation n'est plus sélective.

CONCLUSION :

-La flottation inverse des phosphates par le collecteur pammak 4 n'est plus sélective a un pH supérieur a 5 . Elle est inhibée pour des valeurs de pH inférieures a 4.5.

- Pour une flottation optimale, on doit se placer a un pH compris entre 4.7 et 5 ce qui correspond approximativement a une quantité de 0.5Kg/t d'acide sulfurique .

- Dans cet intervalle, le concentré obtenu titre a environ :

- 29.6% P2O5

- 48.2% CaO

- 0.2% MgO

- La récupération en P2O5 est de 97.4% par rapport a l'alimentation et de 88.4% par rapport au tout-venant .

- Le rapport CaO/P2O5 = 1.63 .

III-2-4-3/ INFLUENCE DE L'ATTRITION :

Pour étudier son influence, on a envisagé des essais de flottation sans attrition .

Le pH est stabilisé a 4.7, avec une consommation de collecteur de 2Kg/t. La dernière flottation a été réalisée avec une consommation de pamak 4 de 3Kg/t.

Nous avons fait varier le temps de flottation en prenant 2 minutes pour les 3 premières et 6 minutes pour la dernière.

Les résultats sont portés dans le tableau 8, annexe II.

DISCUSSION DES RESULTATS :

La teneur en P2O5 dans le concentré est plus élevée que celles des essais précédents avec une récupération voisine de celle du dernier essai.

Il n'y a pas de baisse dans la teneur de CaO, par contre, il n'y a plus de MgO.

La consommation de H2SO4 est de 2.74Kg/t, celle du collecteur est de 9Kg/t.

CONCLUSION :

L'amélioration des résultats dans cet essai par rapport aux précédents : teneur P2O5 30.57%, MgO 0.0%, CaO/P2O5 = 1.59, est due aux quantités excessives de réactifs consommés . Le prétraitement par attrition est donc justifié .

En comparant les résultats du flotte 1 et du flotte à pH =4.7 de l'essai précédent, on peut conclure qu'un temps de flottation de 2 minutes est suffisant dans notre cas .

CONCLUSION GENERALE

La teneur des concentrés obtenus pour des valeurs optimales de réactifs , se situe aux environs de 30% P2O5, ce qui constitue l'objectif minimal à atteindre .

Les analyses chimiques des particules phosphatées du gisement Djebel Onk ont donné une teneur moyenne de 31% P2O5 .

La flottation étant un procédé d'enrichissement ne touchant pas l'endogamie, cette valeur présente un résultat optimum .

En résumé, la méthode de valorisation du minerai de Djebel Onk peut être envisagée pour l'obtention d'un produit marchand .

Le schéma du procédé comprend un concassage, broyage, attrition, deschlammage puis flottation .

Ces résultats peuvent être améliorés par une étude plus approfondie dans laquelle, tous les paramètres de la flottation seraient optimisés .

1. The first part of the report is devoted to a general survey of the situation in the country. It deals with the political, economic and social conditions which have prevailed since the end of the war. The author points out that the country has made considerable progress in these respects, but that there is still much to be done. He also discusses the role of the Government and the various political parties in the country.

2. The second part of the report is devoted to a detailed study of the economic situation. It deals with the various branches of industry and commerce, and the progress which has been made in each of them. The author points out that the country has made considerable progress in these respects, but that there is still much to be done. He also discusses the role of the Government and the various political parties in the country.

3. The third part of the report is devoted to a detailed study of the social situation. It deals with the various social classes, and the progress which has been made in each of them. The author points out that the country has made considerable progress in these respects, but that there is still much to be done. He also discusses the role of the Government and the various political parties in the country.

4. The fourth part of the report is devoted to a detailed study of the political situation. It deals with the various political parties, and the progress which has been made in each of them. The author points out that the country has made considerable progress in these respects, but that there is still much to be done. He also discusses the role of the Government and the various political parties in the country.

A N N E X E I

Tableau I

Ressources mondiales en minerais de phosphates identifiées en 1979

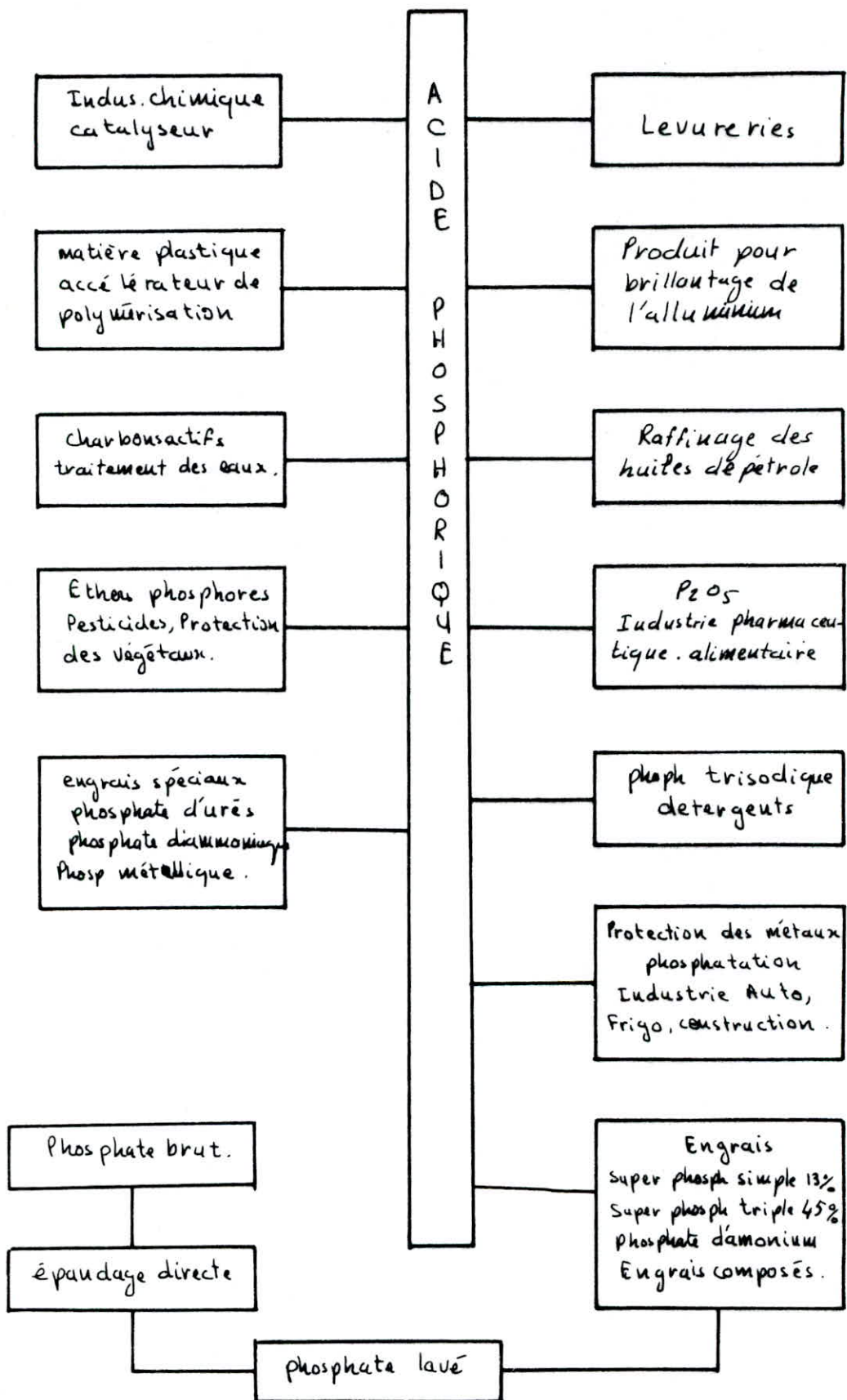
| continent | Pays | % |
|------------------|-------------------|-------|
| Amérique du Nord | U.S.A | 11,94 |
| | Autres | 0,15 |
| Amérique du Sud | - | 1,42 |
| Europe | U.R.S.S | 5,07 |
| | Autres | 0,06 |
| Afrique | Algérie | 0,82 |
| | Egypte | 1,49 |
| | Maroc | 59,71 |
| | Sénégal | 0,30 |
| | Afrique du sud | 10,44 |
| | Tunisie | 1,04 |
| | Sahara occidental | 2,38 |
| Asie | chine | 0,30 |
| | israel | 0,15 |
| | Jordanie | 0,45 |
| | Syrie | 0,59 |
| | Vietnam | 0,22 |
| | Autres | 0,30 |
| Océanie | Australie | 2,98 |
| | Iles du pacifique | 0,19 |
| Total | | 100 |

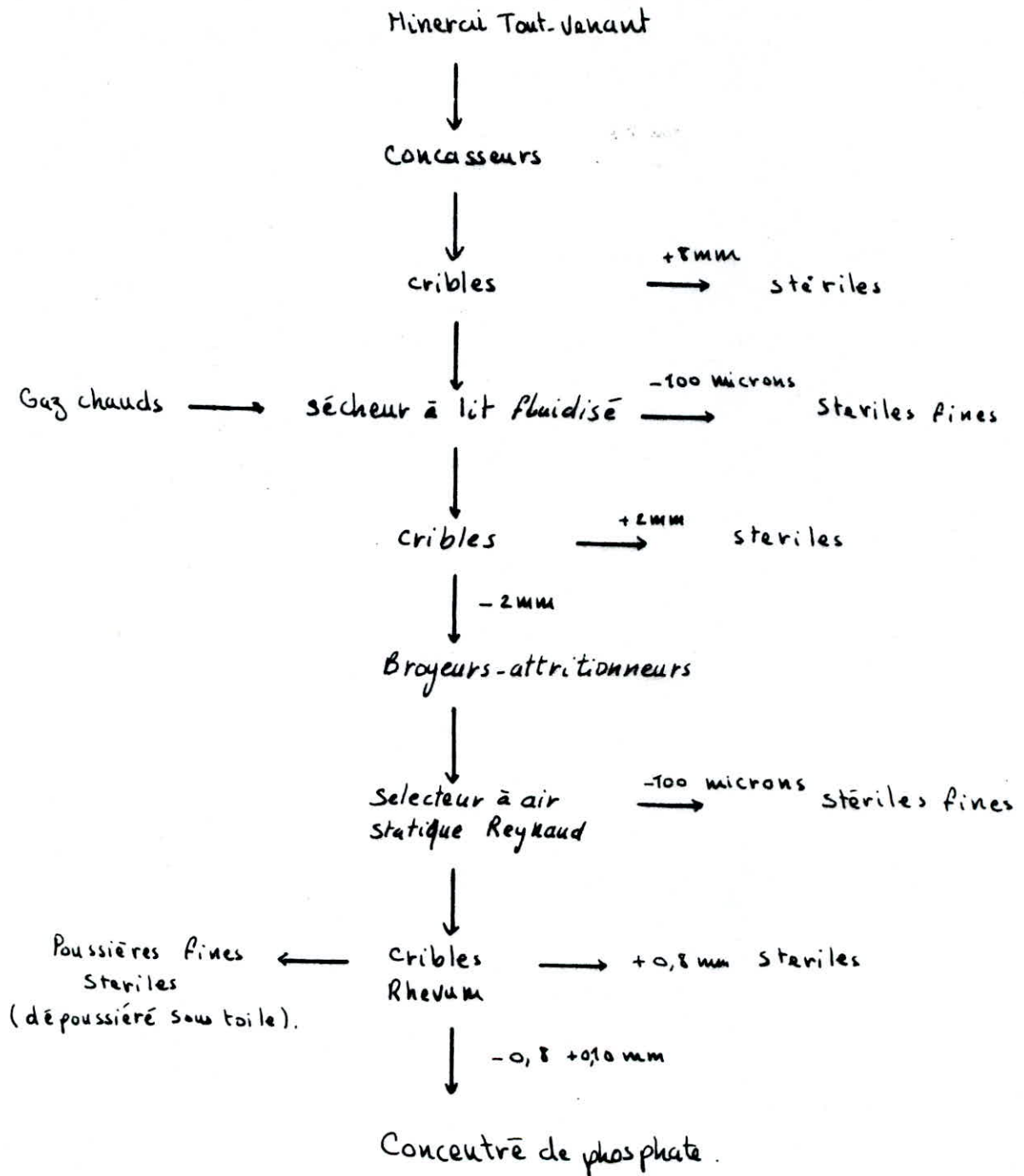
| Pays \ Année | 1970 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 |
|--------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Etats-Unis | 35 141 | 44 285 | 44 670 | 47 256 | 50 037 | 50 997 | 53 363 | 52 242 | 38 607 | 41 890 |
| U.R.S.S. | 17 920 | 24 146 | 24 310 | 24 250 | 24 800 | 24 448 | 24 668 | 25 200 | 27 200 | 27 700 |
| Maroc | 11 399 | 13 548 | 15 285 | 17 259 | 19 719 | 20 175 | 18 824 | 19 696 | 17 154 | 20 106 |
| Chine | 1 700 | 3 400 | 3 750 | 4 100 | 4 400 | 8 517 | 10 726 | 11 500 | 11 728 | 12 500 |
| Tunisie | 3 024 | 3 481 | 3 294 | 3 613 | 3 767 | 4 040 | 4 588 | 4 596 | 4 196 | 5 924 |
| Jordanie | 891 | 1 353 | 1 702 | 1 782 | 2 223 | 2 826 | 4 243 | 4 244 | 4 431 | 4 749 |
| Bésil | | | | 605 | 1 069 | 1 695 | 2 921 | 2 763 | 2 732 | 3 208 |
| Israël | 880 | | | 1 232 | 1 759 | 2 216 | 2 611 | 2 373 | 2 711 | 2 967 |
| Afrique du sud | 1 247 | 1 651 | 1 631 | 2 403 | 2 699 | 3 221 | 3 282 | 3 034 | 3 173 | 2 742 |
| Togo | 1 508 | 1 161 | 2 068 | 2 857 | 2 827 | 2 916 | 2 933 | 2 244 | 2 035 | 2 081 |
| Nauru (île) | 2 144 | 1 533 | 754 | 1 146 | 1 999 | 1 828 | 2 087 | 1 480 | 1 359 | 1 684 |
| Sénégal | 1 128 | 1 677 | 1 580 | 1 594 | 1 558 | 1 619 | 1 459 | 1 927 | 975 | 1 250 |
| Syrie | | | | | | 1 170 | 1 319 | 1 321 | 1 455 | 1 229 |
| Irak | | | | | | | | | 363 | 1 199 |
| Christmas (île) | 1 089 | 1 342 | 1 037 | 1 186 | 1 400 | 1 367 | 1 713 | 1 423 | 1 328 | 1 095 |
| Algérie | | | | 1 055 | 997 | 1 083 | 1 025 | 858 | 947 | 893 |
| Banaba (île océan) | | 516,2 | 417,4 | 445,9 | 465,1 | 419,8 | | | | |
| Autres | 3 062 | 7 427 | 5 550 | 3 743 | 3 916 | 2 714 | 2 958 | 2 939 | 4 056 | 3 995 |
| Total | 81 135 | 106 404 | 107 131 | 115 572 | 124 669 | 130 833 | 138 450 | 137 840 | 125 077 | 135 214 |

Tableau II. Production mondiale par pays en minerai de phosphate (x 1.000 t).

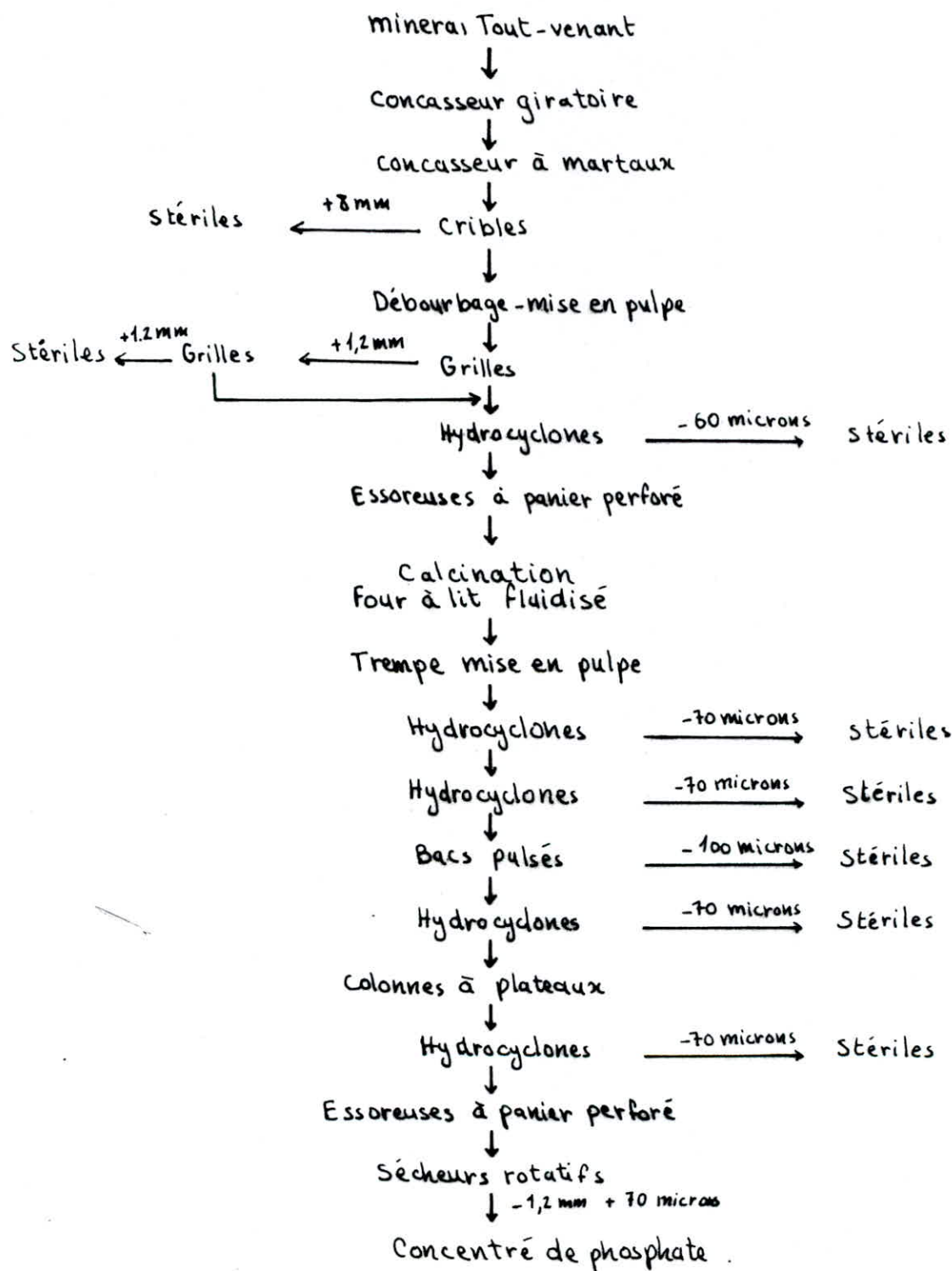
Tableau III.

Domaines d'utilisation des phosphates





Flowsheet de l'enrichissement par voie sèche du minerai du Djebel Onk.



Flowsheet de l'enrichissement par calcination du minerai du Djebel Onk.

A N N E X E II

Tableau 1

Analyse granulométrique du minerai T.V fine

| Classe (mm) | Rendement Poids % | P ₂ O ₅ % | CaO % | MgO % | PAF % |
|----------------|----------------------|---------------------------------|-------|-------|--------|
| -20 + 15 | 4,78 | 22,90 | 11,59 | 2,81 | 16,10 |
| -15 + 12,5 | 7,90 | 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 | 23,90 | 41,95 | 2,30 | 14,24 |
| -6,3 + 5 | 4,09 | 24,24 | 41,95 | 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 | / | 09,89 |
| -0,1 + 0,075 | 1,62 | 23,90 | 45,50 | 1,79 | 13,73 |
| -0,075 + 0,042 | 2,73 | 18,31 | 39,10 | 4,34 | 20,55 |
| -0,042 | 3,94 | 11,33 | 27,02 | 5,11 | 20,30 |
| Total . | 100,00 | 25,08 | 41,78 | 1,87 | 13,64. |

Tableau 2

Répartition en matière dans chaque refus.

| Ouverture des tamis mm | Poids Cumulés % | Répartition P_2O_5 % | Répartition CaO % | Répartition MgO % | Répartition P.A.F. % |
|------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 4,78 | 4,36 | 1,32 | 7,18 | 5,64 |
| 12,5 | 12,68 | 7,43 | 8,20 | 12,93 | 8,96 |
| 10 | 19,67 | 6,71 | 7,02 | 12,41 | 7,97 |
| 6,3 | 30,63 | 10,44 | 11,00 | 13,48 | 11,44 |
| 5 | 34,72 | 3,95 | 4,11 | 5,03 | 4,41 |
| 2 | 44,87 | 9,06 | 9,50 | 13,84 | 11,18 |
| 1 | 52,97 | 8,43 | 8,20 | 8,84 | 7,77 |
| 0,75 | 56,31 | 3,52 | 3,47 | 2,73 | 3,16 |
| 0,5 | 61,33 | 5,24 | 5,64 | 1,37 | 4,08 |
| 0,25 | 65,65 | 8,84 | 8,78 | 3,43 | 7,75 |
| 0,1 | 91,71 | 26,71 | 25,90 | / | 15,99 |
| 0,075 | 93,33 | 1,54 | 1,76 | 1,55 | 1,63 |
| 0,042 | 96,06 | 1,99 | 2,55 | 6,34 | 4,11 |
| < 0,042 | 100,00 | 1,78 | 2,55 | 10,77 | 5,86 |

Tableau 3

Rendement matière dans les refus cumulés.

| ouverture des Tamis mm | Poids cumulés % | Rendement matière des refus cumulés | | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------|--------|---------|
| | | P205 % | C40 % | MgO % | P.A.F % |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 4,78 | 4,36 | 1,32 | 7,18 | 5,64 |
| 12,5 | 12,68 | 11,79 | 9,52 | 20,11 | 14,6 |
| 10 | 19,67 | 18,50 | 16,54 | 32,52 | 22,57 |
| 6,3 | 30,63 | 28,94 | 27,54 | 46,10 | 34,06 |
| 5 | 34,72 | 32,89 | 31,65 | 51,03 | 38,42 |
| 2 | 44,87 | 41,95 | 41,15 | 64,87 | 49,60 |
| 1 | 52,97 | 50,38 | 49,35 | 73,71 | 57,37 |
| 0,75 | 56,31 | 53,90 | 52,82 | 76,44 | 60,53 |
| 0,5 | 61,33 | 59,14 | 58,46 | 77,81 | 64,61 |
| 0,25 | 69,65 | 67,98 | 67,24 | 81,24 | 72,36 |
| 0,1 | 91,71 | 94,69 | 93,14 | 81,24 | 88,35 |
| 0,071 | 93,33 | 96,23 | 94,90 | 81,79 | 89,98 |
| 0,042 | 96,06 | 98,22 | 97,45 | 89,13 | 94,09 |
| <0,042 | 10900 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tableau 4 :
Analyse granulométrique de l'échantillon broyé .

| Classe mm | Rendement Poids % | P ₂₀₅ % | CaO % | MgO % | P.A.F % |
|---------------|-------------------|--------------------|-------|-------|---------|
| -0,5 +0,315 | 9,58 | 30,11 | 48,57 | 0,63 | 10,15 |
| -0,315 +0,250 | 3,15 | 28,61 | 47,52 | 1,13 | 11,54 |
| -0,250 +0,1 | 58,02 | 30,07 | 48,39 | 0,75 | 10,35 |
| -0,1 + 0,042 | 12,92 | 22,52 | 42,28 | 5,15 | 18,13 |
| -0,042 | 16,33 | 13,41 | 30,22 | 5,78 | 18,45 |
| Total | 100,00 | 20,33 | 44,62 | 2,14 | 12,70 . |

Tableau 5:
Répartition en matière dans les refus.

| Ouverture des Tamis mm | Poids cumulés % | Répartition P ₂₀₅ % | Répartition CaO % | Répartition MgO % | Répartition P.A.F % |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,315 | 9,58 | 10,95 | 10,43 | 2,82 | 7,66 |
| 0,250 | 12,73 | 3,42 | 3,35 | 1,66 | 2,87 |
| 0,1 | 70,75 | 66,26 | 62,92 | 20,33 | 47,29 |
| 0,042 | 83,67 | 11,05 | 12,24 | 31,09 | 18,45 |
| < 0,042 | 100,00 | 18,32 | 11,06 | 44,10 | 23,73 |

Tableau 6 :
Influence de la quantité de collecteur .
pH = 5

| Produit | Quantité de Collecteur (kg/t) | Rendement en poids % | teneur P_2O_5 % | Répartition P_2O_5 % | CaO % | MgO % | PA.F % |
|-----------|-------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|-------|-------|--------|
| Lavé | 1 | 3,96 | 18,24 | 2,53 | 37,04 | 5,40 | 17,83 |
| Flotté | | 5,41 | 14,78 | 2,80 | 39,66 | 9,80 | 28,46 |
| concentré | | 90,62 | 29,82 | 94,67 | 48,04 | 1,26 | 10,27 |
| Lavé | 1,5 | 3,19 | 17,34 | 2,00 | 35,12 | 5,40 | 18,03 |
| Flotté | | 13,75 | 20,11 | 9,95 | 43,15 | 6,66 | 21,93 |
| concentré | | 83,06 | 29,47 | 88,05 | 48,92 | 0,63 | 9,76 |
| Lavé | 2 | 4,63 | 18,13 | 3,01 | 37,21 | 5,90 | 18,83 |
| Flotté | | 9,33 | 8,17 | 2,74 | 39,66 | 9,30 | 29,05 |
| concentré | | 86,04 | 30,51 | 94,25 | 48,92 | 0,38 | 9,47 |
| Lavé | 2,5 | 4,14 | 17,48 | 2,65 | 36,34 | 5,78 | 19,21 |
| Flotté | | 12,64 | 9,15 | 4,24 | 41,58 | 7,16 | 24,56 |
| concentré | | 83,18 | 30,53 | 93,11 | 49,10 | 0,25 | 9,76 |
| Lavé | 3 | 5,72 | 18,06 | 3,58 | 37,91 | 6,03 | 19,98 |
| Flotté | | 17,74 | 22,85 | 13,89 | 44,20 | 5,28 | 20,11 |
| concentré | | 76,74 | 31,02 | 82,53 | 48,74 | 0,25 | 9,41 |

Tableau 7 :
Influence du pH.
quantité de collecteur = 2 Kg/t.

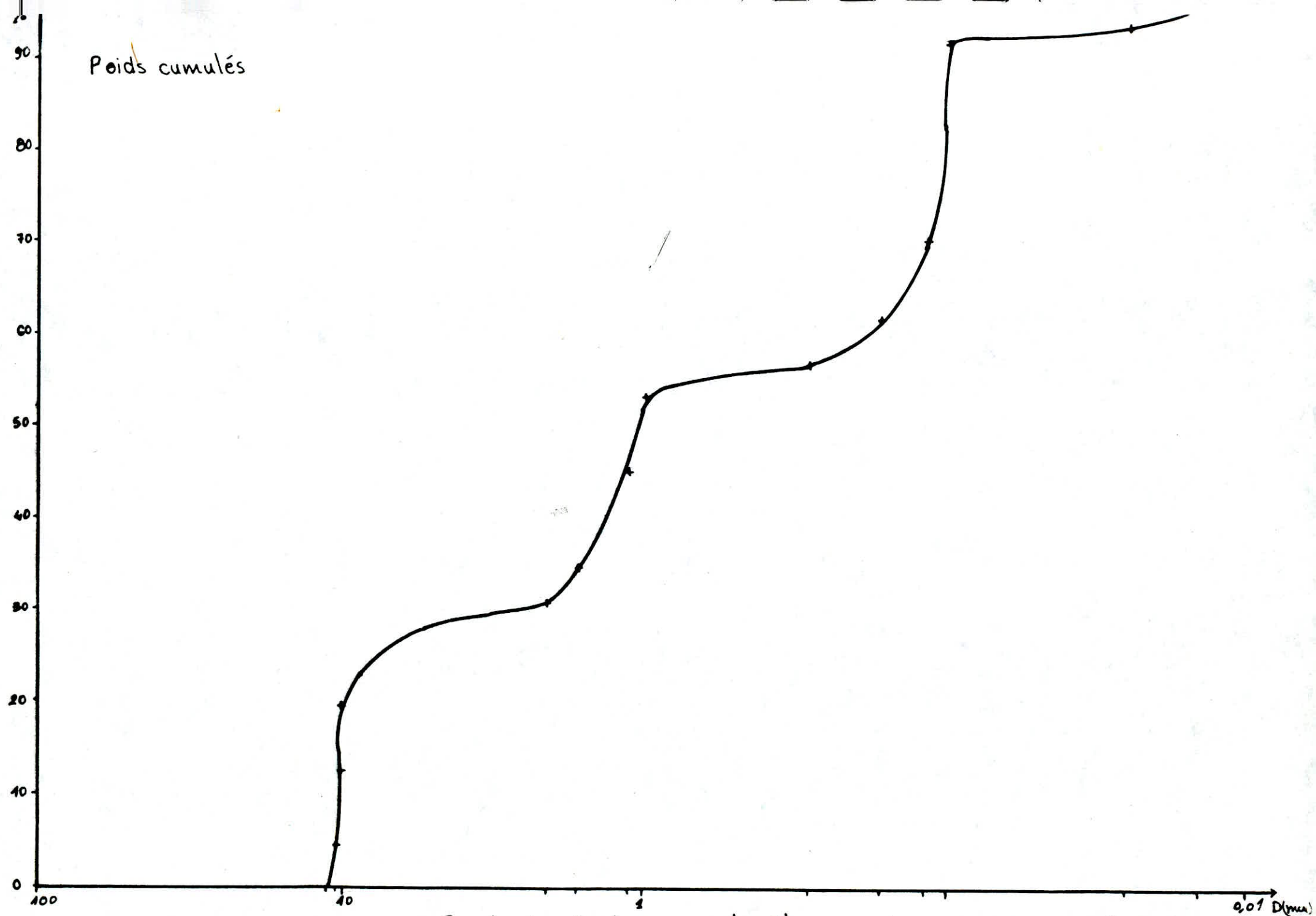
| Produit | Quantité d'acide Kg/t | Rendement en Poids % | P ₂ O ₅ % | Répartition P ₂ O ₅ % | CaO % | MgO % |
|-----------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|-------|-------|
| Lavé | 1,20 pH=4,3 | 2,32 | 17,96 | 1,48 | 34,24 | 3,52 |
| Flotté | | 1,54 | 14,08 | 0,77 | 36,63 | 8,54 |
| Concentré | | 96,14 | 28,62 | 97,75 | 48,22 | 0,25 |
| Lavé | 0,90 pH=4,5 | 2,86 | 18,45 | 1,87 | 36,29 | 4,02 |
| Flotté | | 4,13 | 5,93 | 0,87 | 33,54 | 13,82 |
| Concentré | | 93,01 | 29,47 | 97,26 | 48,22 | 0,25 |
| Lavé | 0,69 pH=4,7 | 2,72 | 18,48 | 1,78 | 34,24 | 4,27 |
| Flotté | | 4,28 | 5,24 | 0,79 | 33,54 | 13,82 |
| Concentré | | 93,00 | 29,67 | 97,43 | 48,22 | 0,25 |
| Lavé | 0,39 pH=5,0 | 2,73 | 18,53 | 1,79 | 34,59 | 4,02 |
| Flotté | | 6,08 | 8,26 | 1,79 | 42,63 | 7,54 |
| Concentré | | 91,19 | 29,87 | 96,42 | 48,92 | — |
| Lavé | 0,10 pH=5,3 | 2,78 | 18,53 | 1,82 | 34,24 | 4,52 |
| Flotté | | 13,27 | 18,70 | 8,78 | 41,58 | 6,53 |
| Concentré | | 83,94 | 30,10 | 89,40 | 48,92 | — |

Tableau 8

Essais sans attrition.

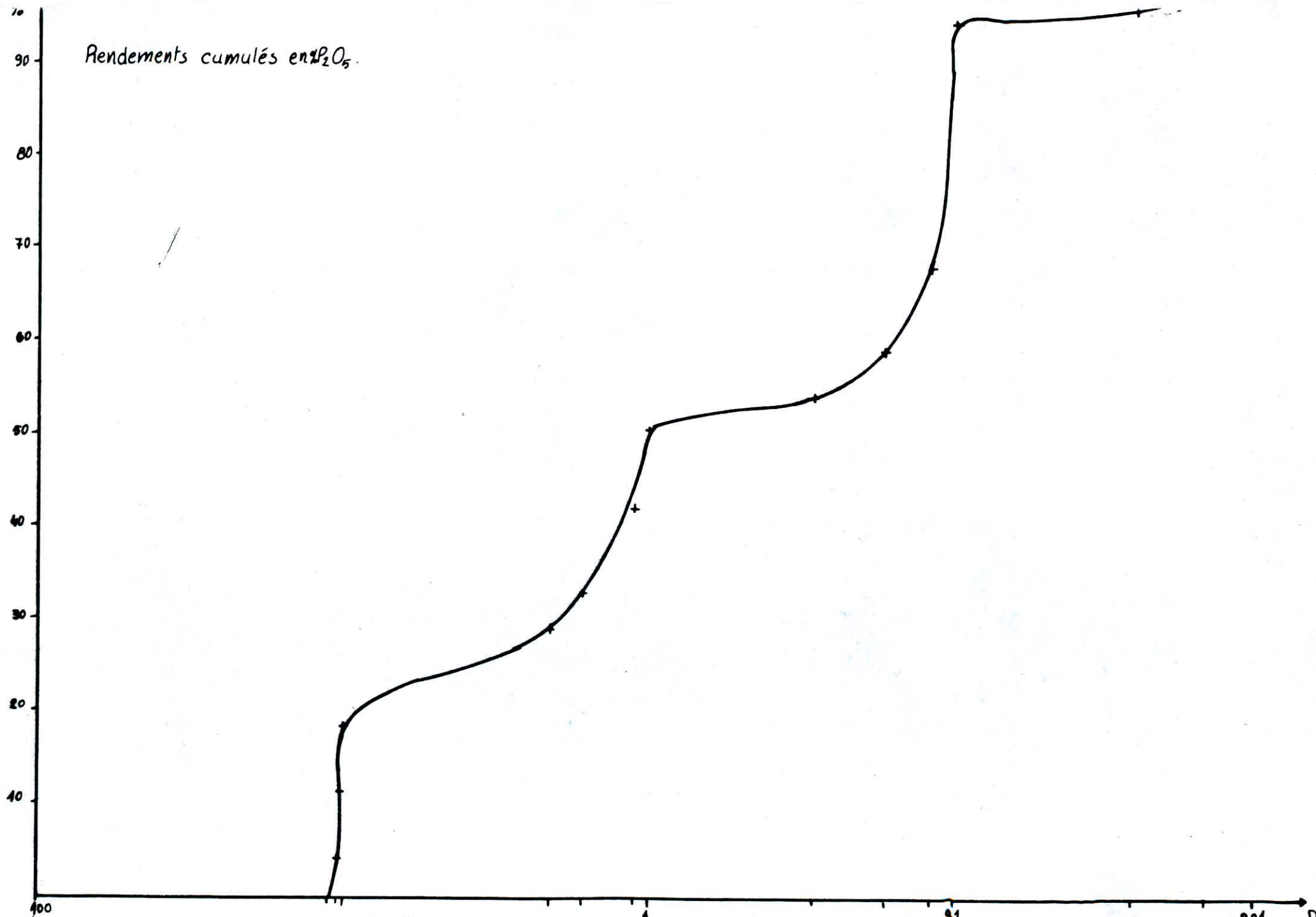
pH ≈ 4,7.

| Produit | Quantité d'acide kg/t | Quantité de collecteur kg/t | Temps de Flottation minute | Rendement en poids % | P ₂ O ₅ % | Répartition P ₂ O ₅ % | CaO % | MgO % |
|-----------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|-------|-------|
| Flotté 1 | 1,14 | 2 | 2 | 4,92 | 7,96 | 1,39 | 33,54 | 12,31 |
| Flotté 2 | 0,72 | 2 | 2 | 3,21 | 8,98 | 1,02 | 33,89 | 11,56 |
| Flotté 3 | 0,39 | 2 | 2 | 1,45 | 11,26 | 0,58 | 34,94 | 8,89 |
| Flotté 4 | 0,49 | 3 | 6 | 1,73 | 14,26 | 0,87 | 35,29 | 5,53 |
| Concentré | / | / | / | 88,69 | 30,57 | 96,14 | 48,50 | - |
| Total | 2,74 | 9 | 12 | 100,00 | 28,20 | 100,00 | 46,87 | 1,20 |

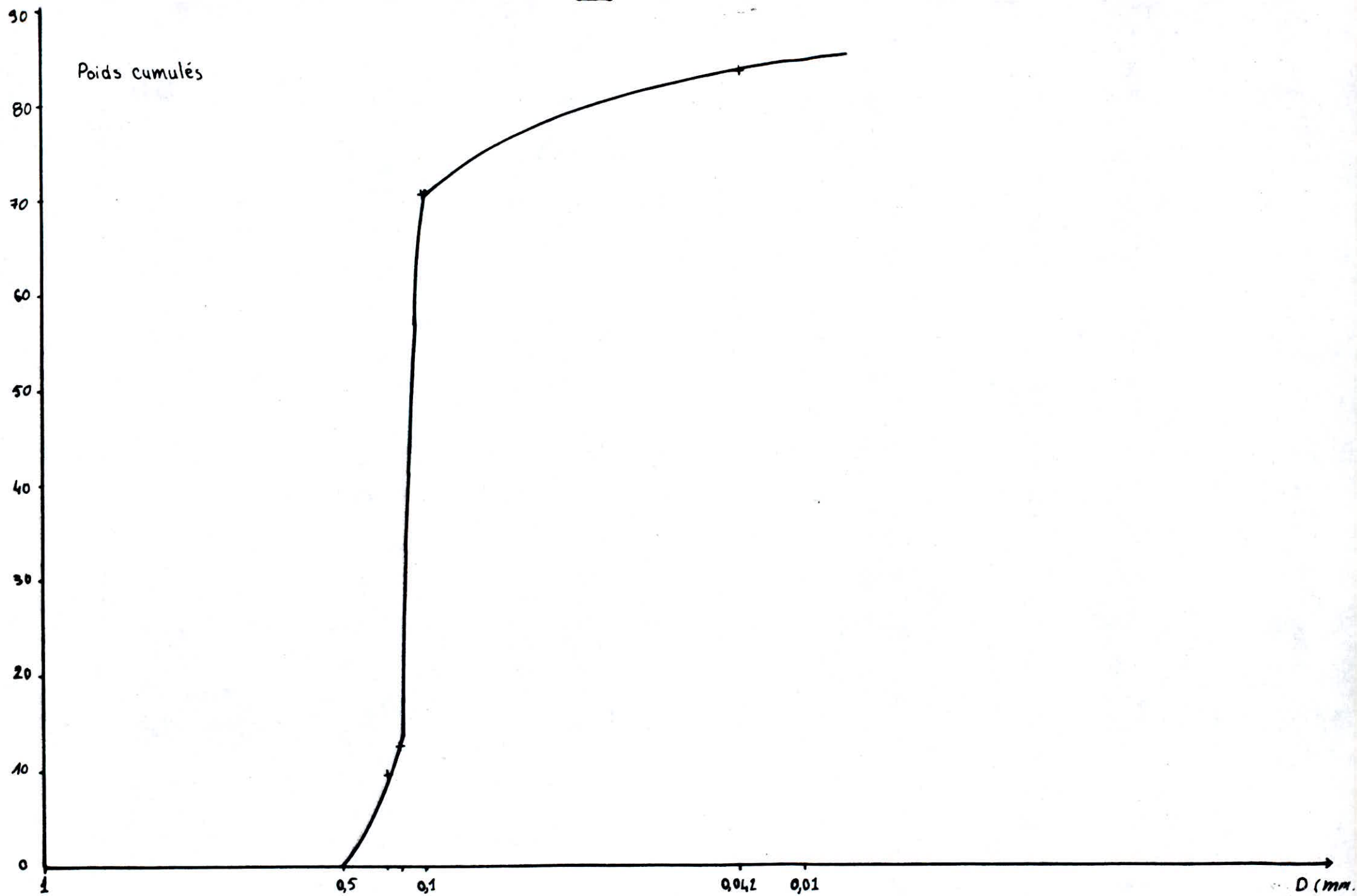


Poids cumulés

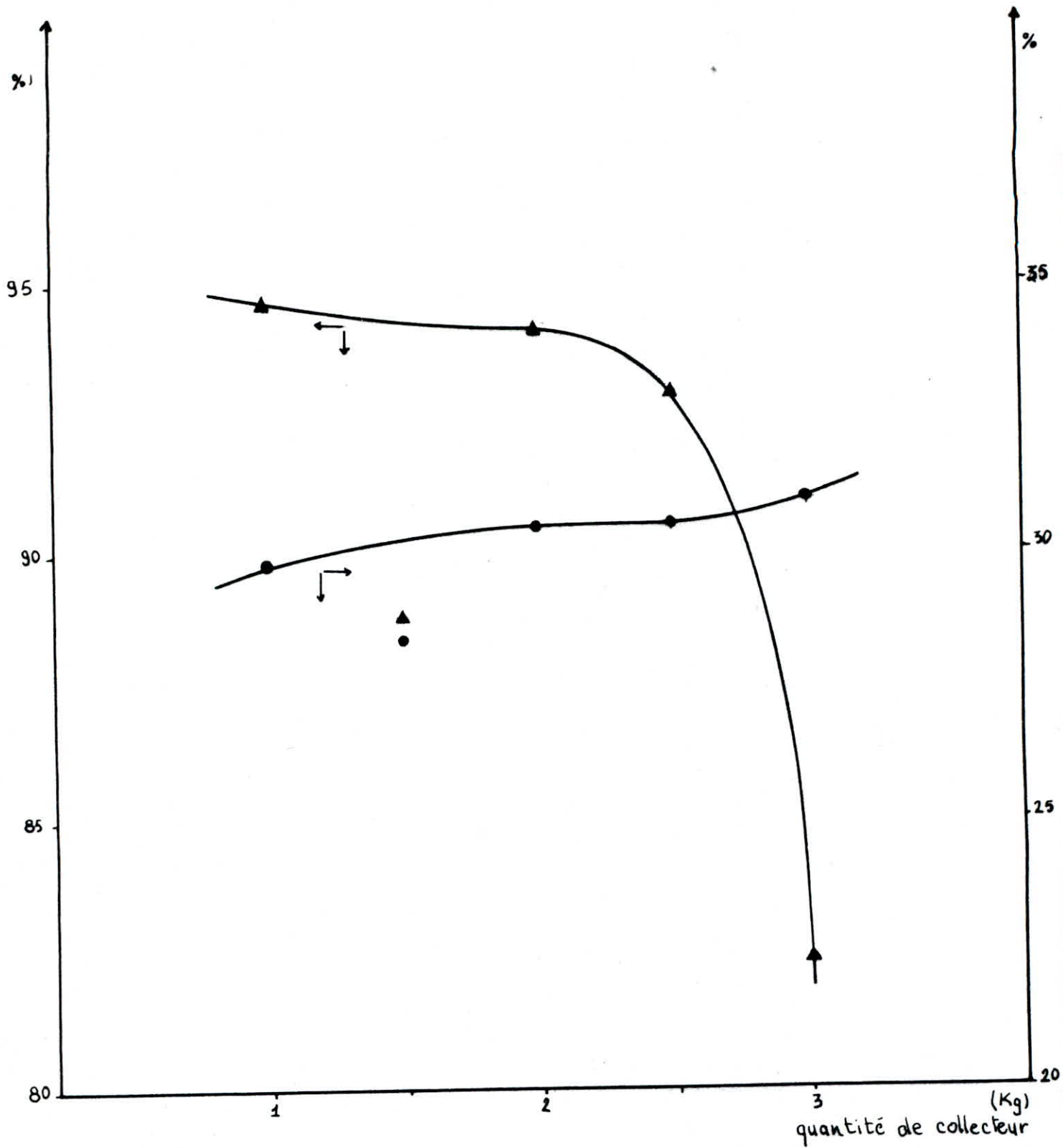
Graphe 1 : Analyse granulométrique du minerai T.V broyé à 20 mm.



Graphe 2 : Rendements cumulés en P_2O_5 du minerai T.v concassé à 20 mm.

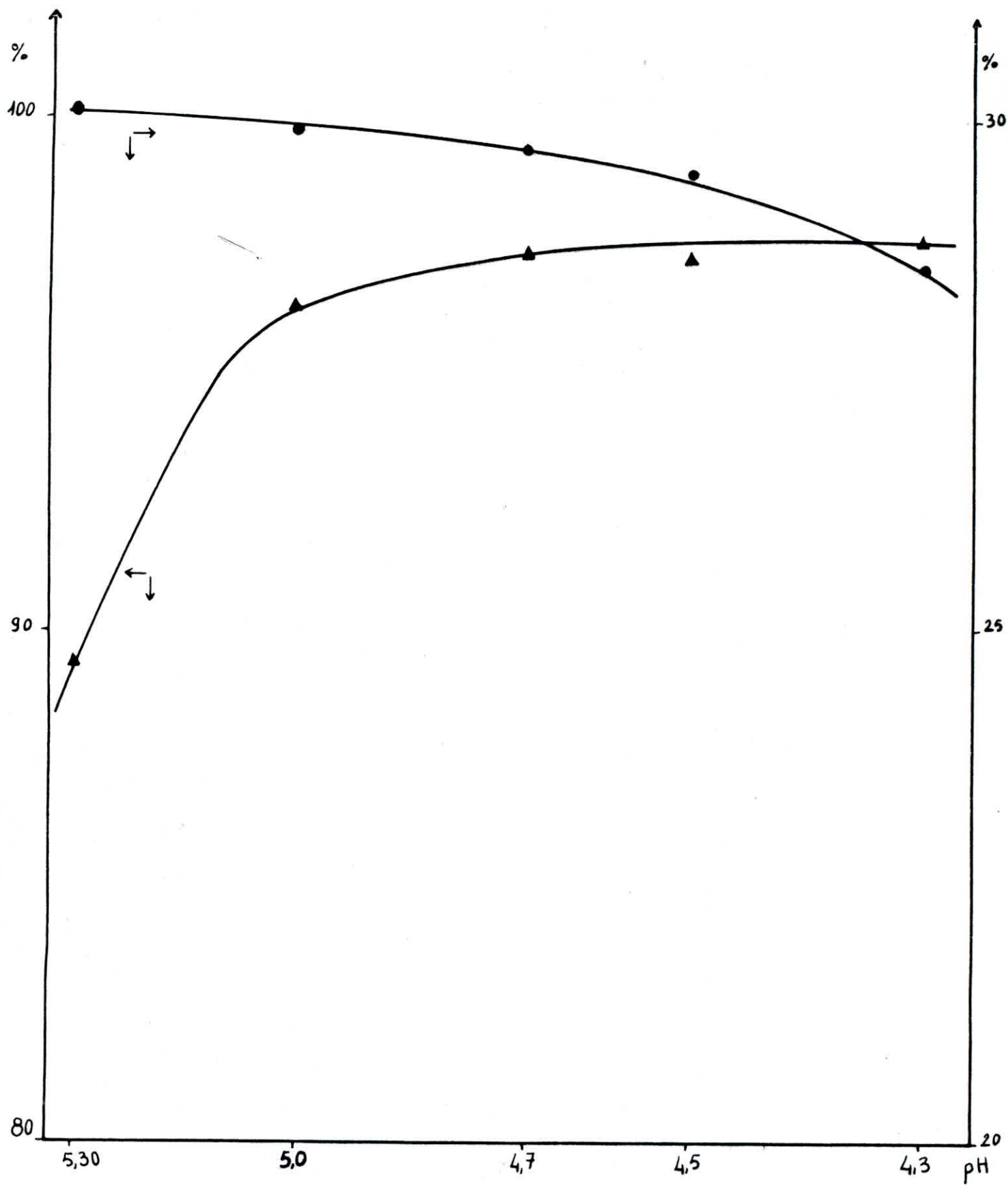


Graphe 3 : Analyse granulométrique du produit broyé



Graph 4 : Influence de la quantité de collecteur.

- Teneur en P_2O_5 dans le concentré
- ▲ Récupération P_2O_5 dans le concentré



Graphes : Influence du pH

- Teneur en P_2O_5 dans le concentré
- ▲ Récupération P_2O_5 dans le concentré.

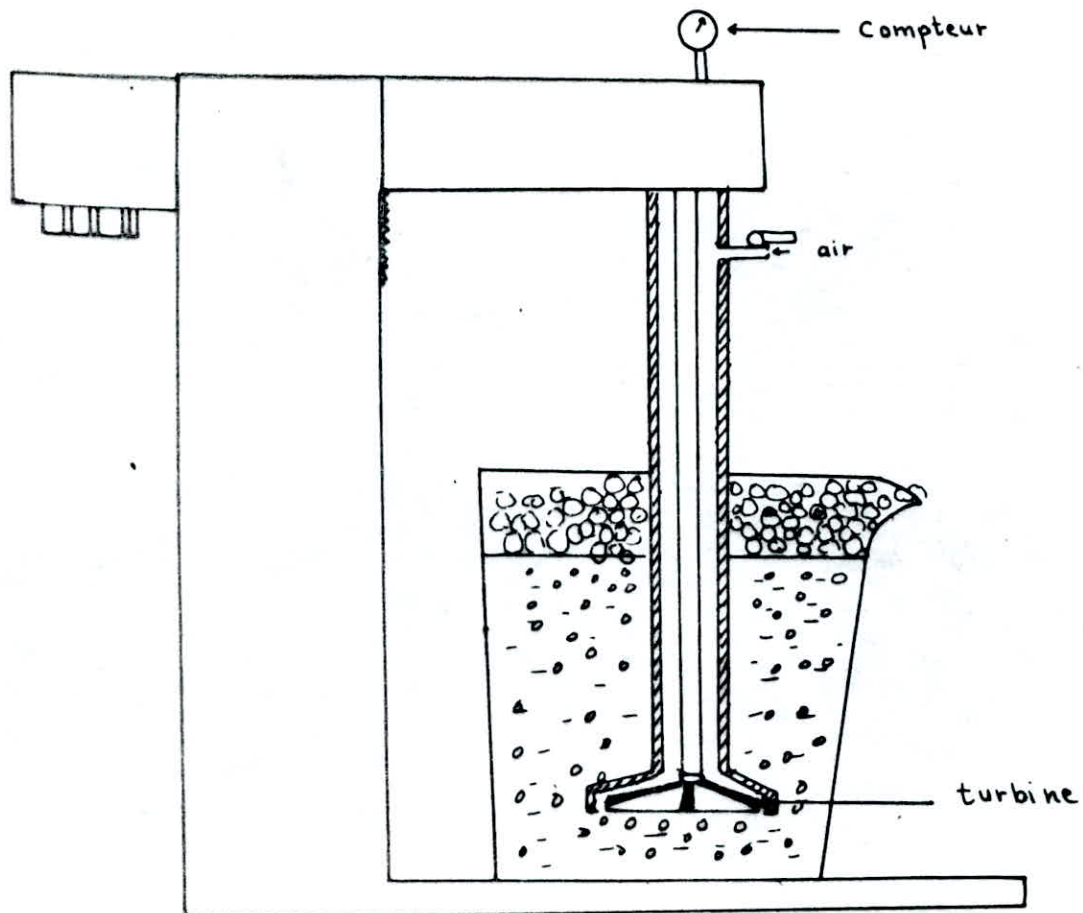


schéma de la cellule de flottation Denver.

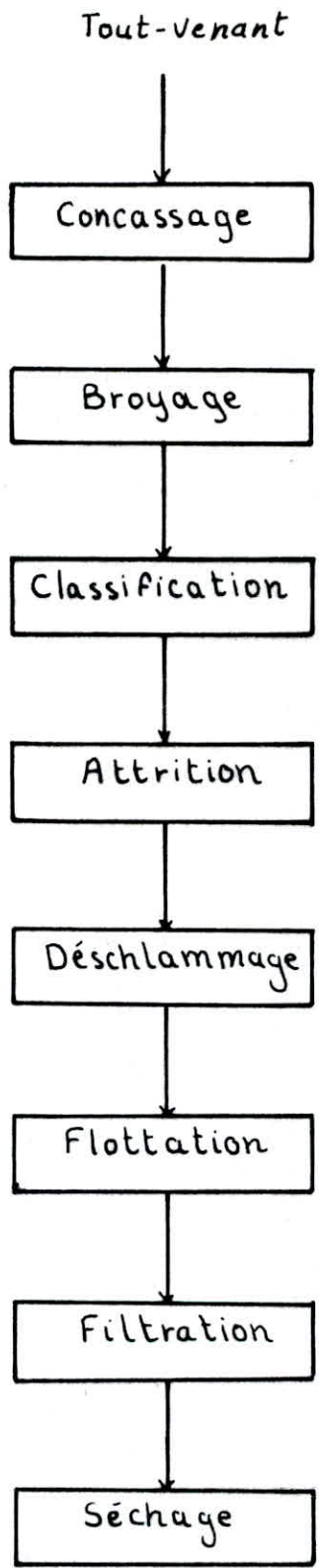


Schéma de la flottation appliquée à l'échantillon de minerai de Djebel Onk.

ANALYSES CHIMIQUES

-Les analyses chimiques ont été effectuées dans les laboratoires de chimie à l'E.RE.M, Boumerdes.

-Les méthodes d'analyse utilisées sont:

P_2O_5 :Photocalorimétrie sur Technicon.

CaO, MgO, Al_2O_3 , Fe_2O_3 :Volumetrie.

SiO_2 :Gravimetrie.

TiO_2 :Colorimetrie.

Na_2O , K_2O , MnO :Photometrie à flamme.

-L'analyse complète d'un échantillon de l'alimentation (-0.5 + 0.042 mg) a donné les résultats suivants:

28.94 % P_2O_5

47.67 % CaO

1.26 % MgO

11.61 % PAF

1.11 % SiO_2

0.06 % Al_2O_3

0.90 % Fe_2O_3

0.00 % TiO_2

1.06 % Na_2O

0.08 % K_2O

0.00 % MnO

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R.DUMON ,1980
Le phosphore et les composés phosphorés, 171 p .
Masson ,Paris.

- [2] P.PASCAL ,1956
Nouveau traité de chimie minérale, Tome X 963 p .
Masson et Cie ,Paris.

- [3] R.GERVY ,1970
Les phosphates et l'agriculture, 298 p .
Dunod ,Paris.

- [4] Encyclopédie Universelle ,1977 Vol 12 .

- [5] P.BLAZY - Y.CHAMPETIER ,
Les phosphates minéraux :Géologie,Exploitation,Valorisation .

- [6] L.GALTIER - F.LE LANN , Mai 1985
Ind min - Mines et carrières.
Les ressources minérales sous marines
3^{ème} partie :Dépôts phosphatés immergés .

- [7] OCDE , 1972
Phosphates naturels et engrais phosphatés dans le monde, 131p.
Etudes techniques, Paris .

- [8] P.BLAZY, 1970
Valorisation des minerais ,416 p
P.U,Paris

- [9] Chronique de la recherche minière, 1988 .
Special "phosphate".

- [10] Seminaire sur la valorisation des phosphates minéraux
pauvres à gangue carbonatée, 1975 ,304 p .
Cagliari .

[11] P.BLAZY , 1980 .

La valorisation des phosphates sédimentaires

2^{me} congrès international sur les composés phosphatés .

Boston, avril 1980.

[12] S.CHABOU - MOSTEFAI ,1987 .

Etude de la serie phosphatée tertiaire du Djebel Onk ,376 p .

Doct d'univ,Aix Marseille III .

