

université d'alger ^{3/73}
1EX
école polytechnique

département Mines et Métallurgie



THESE de FIN d'ETUDES



*Traitement du Minerai
de Fer
Barytique de Bou-Khadra*



proposée par :
S.O.N.A.R.E.M.

dirigée par :
M^r ARAB

étudiée par :
L. KECIRA

1973

-- UNIVERSITE D'ALGER --

Ecole Nationale Polytechnique

Département

Mines et Métallurgie

Thèse de Fin d'Etudes

Essais de Traitement du Minerai de fer
Barytique de Bou - Khadra

Proposée par :

SO.NA.R.E.M.

Dirigée par :

Mr. A. ARAB

Etudiée par :

KECIRA Larbi

-o- Juin 1973 -o-

J'exprime ma profonde gratitude à mes parents
et à tous les professeurs qui ont contribué à
ma formation, particulièrement à Mr. ARAB qui
a dirigé mes travaux.

K. Larbi

I N T R O D U C T I O N

En sidérurgie, les minerais de fer doivent fournir des fontes et des aciers de bonne qualité et à un prix de revient minimum. L'utilisation de ces minerais de fer dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants :

- La richesse du minerai en Fer
- Sa pauvreté en éléments nuisibles (S, P, As...)
- Son indice de basicité $\left[\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2} \right]$
- La possibilité de son enrichissement.

Ces facteurs font que ; suivant les conjonctures économiques, des minerais seront exploités, tandis que d'autres, au contraire, seront délaissés (la cessation d'une exploitation entraîne de graves problèmes sociaux).

Comparé aux autres minerais de fer, le "barytique" de Bou-Khadra est riche en fer (55%), riche en silice et en chaux (2,5% et 2,6%), ainsi qu'en barytine (2,53%), les teneurs en silice et en barytine le rendent à certains endroits impropre à l'utilisation.

Le projet consiste non seulement à enrichir le minerai de fer mais à essayer aussi d'atteindre des teneurs, en barytine, acceptables par la métallurgie. Une étude du minerai de fer, s'avère nécessaire du fait que l'on veut avoir tous les renseignements d'ordre physico-chimique susceptibles d'être conséquent pour la suite de l'étude .

Cette étude comprendra :

- Une analyse minéralogique
- Une analyse granulométrique.

Ces trois (3) phases d'étude du minerai permettront d'axer les essais de traitement, suivant la méthode, à la fois, la plus économique et la plus appropriée.

Le schéma d'usine à concevoir, sera basé sur les essais effectués au laboratoire, et servira au calcul des installations nécessaires. Une analyse économique déterminera la rentabilité du procédé.

PLAN DE L'ETUDE

- 1 - GENERALITES
 - 1.1 Les Minerais de fer
 - 1.2 Aperçus Géographique et Géologique du gisement de Bou-Khadra
- 2 - LES MINERAIS DE FER DE BOU-KHADRA
 - 2.1 Caractéristiques Essentielles du "Barytique"
 - 2.2 Etude Minéralogique
 - 2.3 Analyses Granulométrique et chimique
- 3 - GENERALITES SUR L'ENRICHISSEMENT DES MINERAIS DE FER
 - 3.1 Séparation Magnétique à Basse Intensité
 - 3.2 Séparation Magnétique à Haute Intensité
 - 3.3 Séparation en Milieu Dense
 - 3.4 Séparation par Flottation
- 4 - POSSIBILITES DE SEPARATION DE Ba SO₄
 - 4.1 Par S.M.B. Intensité
 - 4.2 Par S.M.H. Intensité
 - 4.3 Par Milieu Dense
 - 4.4 Par Flottation
- 5 - LA SEPARATION MAGNETIQUE A HAUTE INTENSITE
 - 5.1 La séparation M.H.I. (Théorie)
 - 5.2 Le séparateur à Galet et ses paramètres de Réglage

5.3 Résultats des Essais et proposition d'un Schéma

6 - ESSAIS DE RECUPERATION DE BaSO₄ PAR FLOTTATION

6.1 Théorie de la Flottation

6.2 BaSO₄ et son Utilisation

6.3 Influence des différents facteurs de la flottation sur la récupération de la barytine

6.4 Conclusion

7 - CALCUL DU SCHEMA D'ENRICHISSEMENT

7.1 Rentabilité du procédé

8 - BIBLIOGRAPHIE

1 GENERALITES

1.1 Généralités sur les Minerais de Fer

L'élément "Fer" occupe la quatrième (4^e) place dans l'ordre de fréquence des éléments dans la croûte terrestre, son "Clarke" est de 4,70%. La plupart du temps cet élément se trouve généralement sous forme de composés chimiques mélangés à des minéraux dits : "Stériles" qui sont, eux, inintéressants du point de vue métallurgique.

L'ensemble (composé chimique ferrifère + gangue) constitue le minerai de fer. Si l'on peut extraire le métal, fer ou non, à un prix de revient convenable, le mot "minerai" devient un terme économique.

Il existe à peu près une trentaine de types génétiques de minerai de fer dont les plus intéressants sont les types dits : "Sédimentaires" et "Métamorphiques", ces deux types sont à l'origine de 90% de la production mondiale en minerai de fer.

PRINCIPAUX TYPES DE MINERAIS EXPLOITES DANS LE MONDE

Types	Caractéristiques du minerai	Teneur en Fer	Extraction Mondiale en t; 10 ⁹ /an	Réserves Mondiales en t; 10 ⁹	Exemples de Gisements
I	Lentilles, gîtes stratiformes et amas, contenant Fe ₂ O ₃ et Fe ₃ O ₄ dans les roches métamorphisées de gesspillités et quartzites Précombriennes (non exploitées)	50 à 68	53	Minerais exploités: 40 avec les gesspillités T% = 20-40 3000	Lac Supérieur (USA) Krivoj-Rog (URSS) Kursk (URSS) Brésil - Chine Cameroun
II	En couches en lentilles apaisées 5 + 50 m. composition : des oolithes Fe ₂ O ₃ - Fe CO ₃ - chamosite ; se sont des gisements sédimentaires d'origine marine	20 à 50	32	70	Kertch (URSS) Gara-Djebilet (Algérie) Ain Babouche (Algérie) Chine, Lorraine Clinton (USA)
III	Stratiformes, en amas en zone de dessimination composition: Fe ₂ O ₃ - Fe ₃ O ₄ minéraux de CKARNES (grenat, pyroxènes, épidotes, se formant en contact des roches sili. & Car. Gîtes à Sidérite, lentilles	30 à 40	10	12	Magnitnaya (URSS) Kornouok (USA) Taé (Chine) Japon
IV	Amas et corps filoniens dans les massifs carbonatés l'oxy. superficielles jouant un rôle imp. dans le minerai exploité Dans ce cas nous avons : Fe ₂ O ₃ & Lim. riches eu Surf.	30 à 55	4	6	Bilbao (Espagne) Zaccar) Beni-Saf) ALGERIE Ouenza) Canigou (France) (peu oxydé)
V	Amas et corps filoniens gîtes stratiformes dans les roches basiques et ultrabasiques composition : Fe ₃ O ₄ Ilménite et une faible quantité de sulfure	30 à 60	1	30	Karcanare (URSS) Lac Allard (Canada) USA

ALGERIE DU NORD



Légende

- | | | | |
|---|----------------------|---|-----------------------|
| □ | Base de Recherches | ◇ | Kaolin |
| ⊗ | Manganèse | ◆ | Cuivre |
| ▲ | Plomb-Zinc | ■ | Baryte |
| ⊠ | Fer | ◻ | Wolfram |
| △ | Phosphates | ● | Huile |
| □ | Marbre | ○ | Mercure. |
| ⊕ | Minéralisation Mixte | ⚡ | Mines en Exploitation |

Echelle

0 50 100 150 200 250 km

1.2. APERCUS GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

DU GISEMENT DE BOU - KHADRA

Le Djebel Bou-Khadra est situé dans le triangle minier Ouenza - Khanghet - Bou-Khadra. La mine se situe dans le massif le plus élevé de toute la région (1275 m). C'est une région dont les vocations principales sont l'agriculture et l'élevage. En matière de télécommunication, la région est desservie par une route Nationale Souk-Ahras - Tébessa, et par une ligne de chemin de fer, le Kuif. Annaba. Du point de vue végétation la contrée est très pauvre. La seule industrie implantée jusqu'à ce jour dans la région, est une usine de pâte à papier, dans la commune de Sou-Ahras. La population qui est sédentaire vit essentiellement des revenus de l'élevage, de l'agriculture et de l'exploitation minière.

Du point de vue géologique le Djebel Bou-Khadra est constitué essentiellement d'une puissante lame calcaire, il comporte aussi des affleurements de sédiments Néritiques et plusieurs accumulations récifales assez peu épaisses dont certaines se prolongent sur de très longues distances, les sédiments les plus anciens que l'on puisse observer se situent au Sud du Pic en contre-bas de la lentille calcaire qui forme l'ossature de la montagne.

La succession des couches est approximativement la suivante de la base vers le sommet du Pic.

- Calcaires à grains fins.

- Grès chargés d'oxydes de fer
- Calcaires gris ou brunâtres
- Marnes jaunes (colorées d'oxydes de fer)

Le gisement de fer de Bou-Khadra est analogue à celui de l'Ouenza, tous les deux se trouvent en amas plus ou moins irréguliers au sein des calcaires récifaux de l'Aptien dont ils ont pris partiellement la place ; tout se passe comme si toute la masse entière, des calcaires, était soumise à la minéralisation, la répartition des gîtes n'étant liée qu'à une micro-dislocation imperceptible de certains volumes privilégiés ou encore à ce que l'on peut appeler une "absorption capillaire" d'apports quantitativement limités, apports introduits de-ci de-là le long de cassures toujours difficiles à reconnaître ce qui explique que les gisements sont beaucoup plus développés au voisinage de fractures majeurs.

La substance minérale ne se produit pas n'importe où avec la même facilité et la même forme des amas ; lorsqu'elle est régie par une répartition de faciès, elle se trouve beaucoup plus simplifiée.

L'absorption métassomatique du fer peut y être comparée à l'imprégnation d'une éponge ; la limite des gisements n'étant déterminée, selon toute vraisemblance que par l'épuisement plus ou moins rapide des apports en ion fer.

2. LES MINERAIS DE FER DE BOU - KHADRA.

Les Minerais de Fer de Bou-Khadra

La mine de Bou-Khadra, est une mine dont les exploitations sont assez anciennes, la découverte des gisements remonte à la même date que celle de l'Ouenza.

Les minerais de fer de Bou-Khadra sont essentiellement composés d'Hématite. On y trouve aussi de la Sidérite, mais en quantité très limitée ; tel est le minerai de base des calcaires, minerai transformé en oxyde dans les gîtes en exploitation, tous situés au dessus du niveau Hydrostatique. La sidérite traversée par de nombreux sondages n'offre aucune particularité notable.

Le minerai, exploité, noir ou rougeâtre, parfois pulvérulent est remarquable par l'abondance de petits rhomboèdres et localement par des formes cristallines de sulfure de fer (très rares...). A l'état d'hématite le minerai est assez chargé en oxyde de manganèse et comporte naturellement certaines impuretés (fines aiguilles de quartz, Calcite, Barytine...).

Sur les sections polies, l'oligiste souligne bien la trame rhomboédrique de la Sidérite transformée ; à côté des oxydes de fer pulvérulents et non identifiables, on remarque souvent la présence de goethite et de Limonite.

La teneur en fer, des minerais de Bou-Khadra atteint dans certains endroits des valeurs parfois supérieures à 60% .

A Bou-Khadra on note trois (3) types de minerais :

- Le minerai "Marchand"

- Le minerai "Barytique"

- Le minerai "Siliceux"

Pour pouvoir exploiter le minerai dit "Marchand", on procède par des analyses chimiques effectuées dans tous les trous de forage qui se font sur des distances variant de 10 à 15 m, dans l'exploitation à ciel ouvert, dans l'exploitation en galeries, les prélèvements sont faits toutes les 5 mètres d'avancement. D'après les teneurs en SiO_2 et en Ba SO_4 on décide si le minerai à exploiter est marchand ou non, s'il ne l'est pas, c'est suivant les teneurs en fer et en Ba SO_4 qu'il est stocké.

Les analyses chimiques des différentes catégories de minerai ont donné les résultats suivants :

Eléments	Marchand	Barytique	Siliceux
Fer	59	55	48
SiO_2	4	2,5	17,9
BaSO_4	0,35	3,7	1,2
Mn	2,5	2,3	2,3
Cu	Traces	-	-
CaO	2,40	2,60	1,99
MgO	0,80	0,68	0,70
P	0,002	-	-
$\text{Al}_2 \text{O}_3$	0,90	1,85	2,50
SO_3	-	-	0,10

2.1. Caractéristiques Essentielles
du Barytique de Bou-Khadra

Le "barytique de Bou-Khadra possède certaines caractéristiques, dont : la barytine se présente aussi bien sous forme diffuse que sous forme concentrée : (taches, nids, filonnets sans continuité). Elle est intriable dans le premier cas, peut être écrémée dans ses éléments trop visibles, par un triage à la main dans le second cas? Les analyses ont montré que si le sommet vierge du gisement principal montre des teneurs trop élevées en barytine (cause d'un rejet considérable : 40 à 50 %) il n'en reste pas moins que ces teneurs décroissent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du Pic calcaire, qui sépare les branches sud et nord du gisement principal, pour atteindre des teneurs très basses au dessous du niveau 1045.

L'estimation géologique du minerai barytique de Bou-Khadra avance le chiffre de 3 500 000 tonnes (contre 1 000 000 tonnes de siliceux). Ces réserves se répartissent entre les stocks et les réserves non exploitées encore, mais qui le seront sans aucun doute durant les années à venir, vue l'exploitation sélective actuelle, en effet actuellement on pratique dans les gisements de Bou-Khadra une exploitation sélective de l'Hématite. Les amas barytiques s'imbriquent d'une façon quelconque dans toute la masse minéralisée située au dessus du niveau 1045, la répartition de ces amas ne suit selon toute vraisemblance aucune répartition bien définie, les teneurs en barytine varient très fortement d'un niveau à un autre, plus haut ; sur un même gradin on peut trouver le non-barytique

encadré de barytique ou vice-versa. Cette situation est valable pour l'ensemble de toute de toute l'exploitation, à ciel ouvert ou en galeries, située aux niveaux supérieurs au 1045.

Dans le chapitre suivant, on essayera de présenter une étude minéralogique détaillée du minerai de Bou-Khadra tout en tenant compte de la distribution de la barytine.

2.2. Etude Minéralogique

Pour pouvoir établir un schéma, technologique, de traitement d'un minerai en général, il est nécessaire de connaître la constitution minéralogique du minerai considéré. Dans cette étude nous pouvons distinguer deux groupes minéralogiques :

- Les minéraux de fer
- Les minéraux non-férrifères, qui entrent dans la composition du minerai sous forme d'amas ou dissimulée.

Cette étude minéralogique, qui est déterminante pour le traitement du minerai a été faite sur des lames-minces et des sections polies préparées aux laboratoires de la SO.NA.R.E.M d'El-Harrach, l'analyse de ces préparations a fourni les renseignements suivants :

- A - Les Minéraux de Fer

- La sidérite : Fe CO_3

Sa présence dans l'exploitation actuelle n'est pas très importante, mais néanmoins, on note sa présence comme étant le constituant principal du minerai originel ou primaire, elle est généralement blonde et cristallisée en rhomboèdres, deux faciès s'individualisent ; l'un à grands cristaux à faces planes ou légèrement courbées atteignant parfois 5 mm de côté, l'autre étant un agrégat ne dépassant guère 1 mm.

Ces deux types de formation constituent des zones imbriquées les unes dans les autres, ils montrent la même composition chimique ; du quartz sous forme de fins prismes pyramidés envahit parfois les cristaux de Sidérite.

La présence constante de Magnésium et de Manganèse dans les analyses du minerai, et l'augmentation de leur teneur parallèlement à celle du fer semblerait indiquer une relation entre Mg, Mn et le fer, cela se traduit par une formule du type : $(\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe})\text{CO}_3$.

↳ L'Hématite : FeO_3

Elle est le constituant majeur du minerai d'oxydation ou secondaire (actuellement en exploitation).

Elle se présente sous plusieurs formes :

- * Grands rhomboèdres noirs et brillants, assez trapus, accolés les uns aux autres et rendent le minerai ainsi formé très friable.
- * Agrégats de petits cristaux brillants dont les dimensions varient de 1 à 2 mm qui donnent un minerai dur et homogène.
- * Masses ternes sans cristaux apparents.
- * Hématite. pulvérulente.

Les deux premières formes rappellent les deux types de Sidérite déjà rencontrés. De symétrie rhomboédriques, l'Hématite se présente fréquemment en cristaux de cette symétrie. Les sections polies (et les analyses en diffractométrie X) permettent de voir que l'Hématite est accompagnée de quartz, de calcite et de Barytine ainsi que de minéraux

épars tels que la Galène, la Blende, la Tétrahédrite et la Pyrite. Une teneur constante en Mn, de l'ordre de 2,40% est remarquable dans les analyses d'Hématite.

Le manque de données ne nous permet pas d'interpréter ce phénomène. Du point de vue physique nous avons affaire à un minéral assez tendre (dureté : 5,5 à 6,0 sur l'échelle de Mohs). La densité maximale de l'Hématite analysée est de l'ordre de $3,5 \text{ g/cm}^3$; nous sommes encore loin de la densité du minéral type ($4,8$ à $5,2 \text{ g/cm}^3$), le manque de cohésion, la présence d'impuretés et d'hydroxydes sont responsables de cette faible densité.

L'Hématite est relativement moins pure que le minéral primaire (Fe CO_3) ; un cortège d'hydroxydes accompagnent l'hématite et constitue la majeure partie du minerai exploité. Les zones à hydroxydes sont en général moins riches et sont nommées (à l'Ouenza) "minerai brun" à cause de la couleur grise-claire, caractéristique des formations limonitiques. Cette hématite s'était formée en milieu très fortement oxydant dans des gisements appartenant aux types génétiques les plus variés et dans les roches les plus diverses, elle s'est aussi formée à des températures très variables.

- La Goethite : Fe OOH

C'est l'hydroxyde le plus intéressant, de tous les autres, lorsqu'il est relativement pur, il constitue un minerai riche attei-

gnant parfois des teneurs en fer supérieures à 55%. Ce minerai s'individualise d'une très bonne façon à l'affleurement, il accompagne fréquemment l'Hématite et peut se présenter seul en amas plus ou moins importants. Il forme souvent des encroûtements à la surface mamelonnée et brillante.

Sa formation peut être de ce fait considérée comme étant récente. En dehors des formations de la Sidérite, les carbonates de fer sont très peu répandus.

- L'Ankérite : $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{CO}_3)_2$:

Elle se rencontre le plus souvent sous forme d'inclusions, rares, dans les zones de minerai limonitique. La présence de ce minéral n'a pas été mise en évidence au sein de l'hématite qui est responsable de la présence de Magnésium (Mg) dans l'Hématite.

B - Les Minéraux non-Ferrifères

Ces minéraux entrent dans la composition du minerai, mais ils sont le plus souvent l'objet de concentration locales à la base de l'exploitation, mais dès que l'on monte d'un niveau, à un autre supérieur leur présence dans la masse minéralisée devient beaucoup plus diffuse.

- Le Quartz : Si O₂

Son développement peut être tel qu'il rende le minerai impropre à l'utilisation ; la teneur tolérée par la sidérurgie étant de l'ordre de 4,0%.

Nous pouvons constater qu'à Bou-Khadra, qu'en maints endroits la silice dépasse, et de loin, cette teneur limite, pour atteindre parfois de 16 à 20%.

Le quartz se présente sous forme de fines aiguilles prismatiques, ainsi qu'en prismes bipyramidés qui peuvent atteindre parfois de 5 à 8 cm de long. Sa répartition dans la masse minérale en exploitation semble anarchique dans l'état actuel des connaissances du gisement.

Le développement du quartz est tardif dans le minerai en exploitation, comme dans l'enveloppe constituant les roches encaissantes.

- La Calcite : CaCO₃

En dehors des bancs calcaires du massif, la calcite envahit certains domaines minéralisés, sous forme d'encroûtement et de stalactites. Un certain minerai dit : "Géodique" voit toutes ses cavités et fissures entièrement tapissées de calcite, de formation récente. Les eaux qui y circulent sont à l'origine de ces dépôts encroûtants.

- La Barytine : Ba SO₄

Comme le quartz, sa répartition dans la masse minéralisée reste anarchique, ses teneurs varient d'un endroit à un autre dans

la masse du minerai en exploitation. Elle se trouve le plus souvent sous forme de grands cristaux lamellaires, on y trouve aussi des cristaux prismatiques ; elle peut se trouver aussi à l'état d'agrégats sous forme de masses granulaires cryptocristallines, terreuses. On la rencontre en général de couleur blanche, mais le plus souvent elle est colorée en jaune ou en brun (hydroxydes de fer).

Elle peut envahir le minerai de fer, sous forme de fines aiguilles, sous forme d'amas ou sous forme déssiminée. Sa répartition dans le minerai ne suit aucune loi de répartition ; ce que nous savons c'est que la teneur en barytine augmente au fur et à mesure que l'on s'approche des niveaux les plus hauts de l'exploitation.

Sur les sections polies, on peut observer des grains de barytine dont les dimensions maximales sont de l'ordre de 1 mm et les dimensions minimales de l'ordre de 0,1 mm.

Dans le minerai "Marchand" la teneur en barytine ne doit pas excéder la teneur maximale de 0,35%, ce que nous pouvons affirmer aussi ; c'est que entre 0 et 10% de $Ba SO_4$; les teneurs en fer sont acceptables, mais au-delà de 10%, les teneurs en fer ne sont plus acceptables. D'après les analyses chimiques des échantillons prélevés que le terrain et les stocks existants, nous avons constaté que la teneur moyenne en $Ba SO_4$ du minerai barytique est de l'ordre de 3%.

Il semblerait, dans le même ordre d'idées, que le

gisement ferrifère de Bou-Khadra obéit à une équation de la forme :

$$54 \% \leq \% \text{ Fe} + \% \text{ SiO}_2 + \% \text{ Ba SO}_4 \leq 65 \%$$

- Paragénèse du Gisement

C'est les minéraux qui forment l'ensemble d'un même échantillon dont l'association s'explique par la liaison génétique existant entre eux.

Deux paragénèses sont présentes dans le gisement de fer de Bou-Khadra

- * Une paragénèse "Originelle" à Sidérite.
- * Une paragénèse "Secondaire" d'Altération ou hydroxydée à Hématite et Limonite - Goethite.

2.3 Analyses Granulométrique et Chimique du T.V.

Classes	% Poids	% Cumulés	% Fer	% Ba SO ₄
+ 40	6,05	6,05	53,2	4,66
-40/+35	3,48	9,53	59,7	4,20
-35/+30	3,58	13,11	57,9	3,75
-30/+25	4,65	17,76	57,1	3,15
-25/+20	6,78	24,54	55,7	2,60
-20/+15	7,15	31,69	58,0	1,98
-15/+10	8,47	40,16	53,3	1,90
-10/+6	8,66	48,82	55,8	1,88
-6/+5	4,55	53,37	56,8	1,88
-5/+4	2,23	55,60	57,8	1,86
-4/+3,15	3,20	58,80	56,6	2,60
-3,15/+2,50	3,73	62,53	56,1	2,82
-2,50/+2	3,26	65,79	56,1	2,86
-2/+1,60	2,97	68,76	55,9	2,80
-1,60/+1	3,55	72,31	56,4	2,90
-1/+0,80	3,38	75,69	53,8	3,40
-0,80/+0,315	7,27	82,96	52,6	2,45
-0,315/+0,125	11,31	94,27	53,0	2,46
-0,125/+0,063	4,55	98,82	56,4	1,52
-0,063	1,18	100,00	55,8	1,78

Explication des Analyses

Du tableau précédent, les conclusions suivantes peuvent être retenues :

* Du point de vue répartition des classes granulométriques, elles sont sensiblement égales, les unes aux autres (-0,315/+ 0,125 mm) qui représente à elle seule : 11,36% du poids total de l'échantillon.

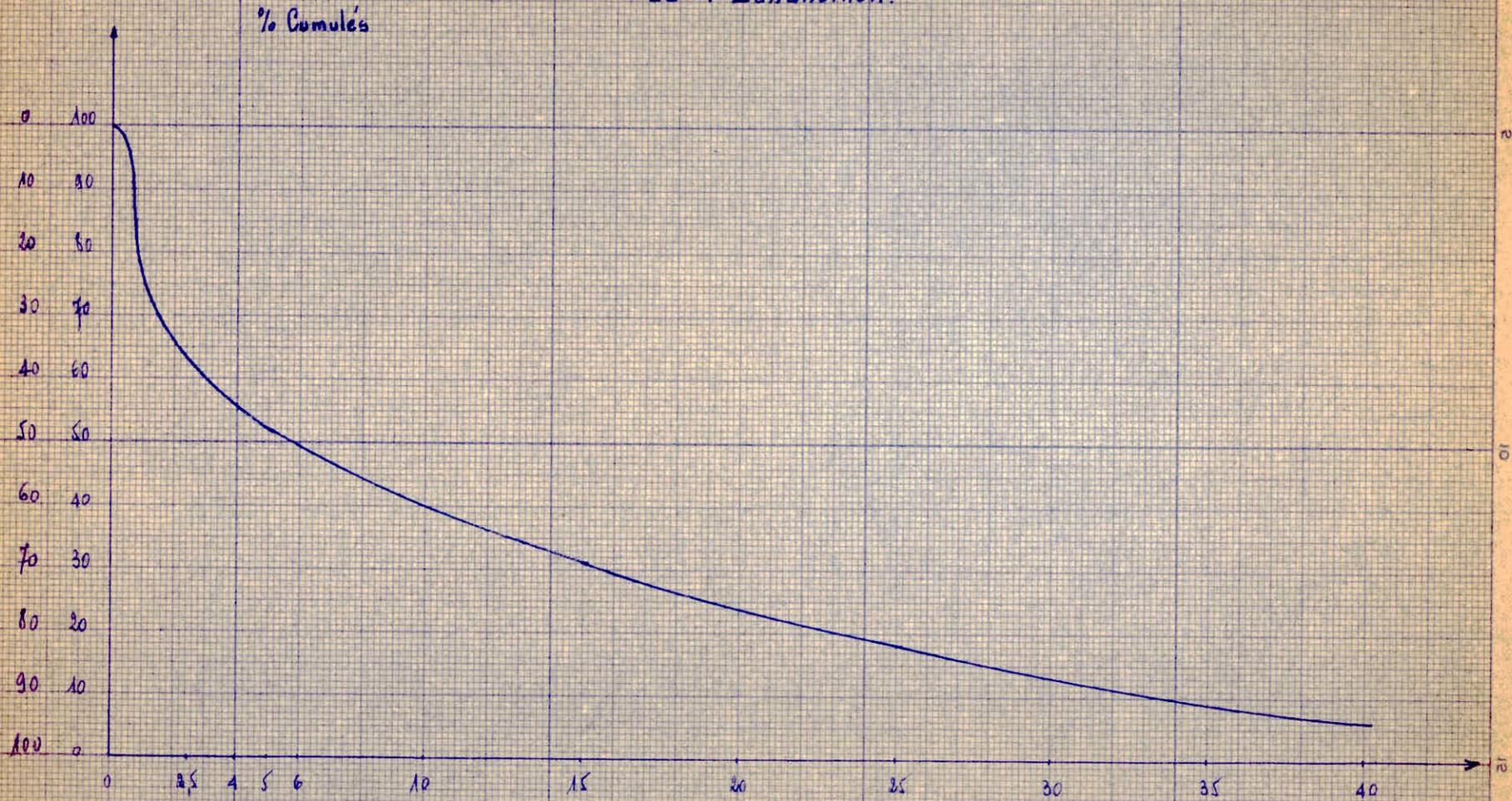
* Du point de vue teneurs en Ba SO₄ ; elles diminuent progressivement avec la granulométrie (dans le même sens de la dimension des grains) pour atteindre la valeur : 1,86% dans la classe (-5/+ 4) puis elles augmentent pour atteindre de nouveau la valeur : 3,40%, puis enfin diminuent dans les classes inférieures à 0,125 mm.

En plus des résultats concernant la granulométrie et les teneurs en Ba SO₄ on peut estimer que la maille de libération optimale des minéraux constituant le minerai étudié, se trouve dans la tranche granulométrique (-4/ 0)mm.

Des estimations basées sur l'analyse minéralogique ont donné les résultats suivants :

Entre 20 et 30%	de Ba SO ₄	sont libérés	dans la classe	(-40/+10)
" 30 et 60%	"	"	"	" (-10/+5)
" 60 et 80%	"	"	"	" (-5/+3)
" 80 et 100%	"	"	"	" (-3/40)

Caractéristique Granulométrique de l'Echantillon.



3. Généralités sur l'enrichissement
des Minerais de Fer .

Généralités sur l'Enrichissement
des Minerais de Fer

Parmi les différentes méthodes d'enrichissement des minerais de fer on peut noter les quatre (4) méthodes les plus importantes et les plus répandues:

- La Séparation Magnétique à Basse Intensité (S.M.B.I)
- La " " " à Haute Intensité (S.M.H.I)
- La " " en Milieu Dense
- La Flottation

Essayons d'examiner succinctement les 4 méthodes ci-dessus

- 3.1 La Séparation Magnétique à Basse Intensité

La Séparation magnétique à basse intensité, ne concerne en général que les matériaux Ferromagnétiques. Les intensités développées, par les séparateurs magnétiques à basse intensité, sont de l'ordre de 1 000 à 1 200 oersteds. La technique de cette méthode est basée sur le calcul, théorique, suivant :

$F (H)$ = la force magnétique

V = le volume de la particule

$U (n)$ = la perméabilité relative de la particule

$U (o)$ = la " " dans le vide

N = le facteur de démagnétisation

B = la densité du flux

$\frac{dB}{dr}$ = le gradient de densité du flux.

F(c) = la force Centrifuge.

r = le rayon du Tombour.

dp = la densité de la particule.

n = la vitesse de rotation du Tombour.

Pour avoir cette vitesse de rotation du tombour, qui est déterminante pour la séparation, on doit écrire que les forces magnétique (F m) et les force Centrifuge (F c) sont égales, soit :

$$F(m) = \frac{\sqrt{U(r)} - 1}{1+N \sqrt{U(r)} - 1} \cdot \frac{1}{U(o)} \cdot \frac{dB}{dr} \text{ et } F(c) = 4 \pi V dp n^2 r.$$

Cette méthode, d'enrichissement, s'applique surtout à la magnétite native, soit à certains composés qui ont atteint cet état au moyen d'un traitement thermique (grillage magnétisant).

Cette séparation peut être effectuée soit :

* Par voie sèche, pour les gros grains.

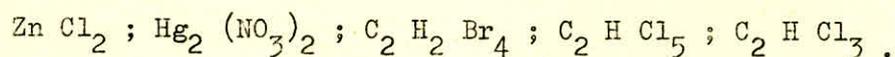
* Par voie humide, où l'eau sert de dispersant aux particules fines

- 3.2 La Séparation Magnétique à Haute Intensité :

Elle permet la séparation des matériaux paramagnétiques mélangés à des substances diamagnétiques, tels, les silicates, le quartz, la barytine ou les carbonates alcalino - terreux. Elle peut s'appliquer aussi aux minerais de fer se trouvant sous forme d'oxydes ou d'hydroxydes, auxquels on ne peut appliquer la séparation magnétique à basse intensité.

- 3.3 La Séparation en Milieu Dense

Elle est basée surtout sur la différence des poids spécifiques entre les minéraux à séparer, ce mode d'enrichissement nécessite un certain nombre de réactifs dont la densité est intermédiaire entre les deux espèces minérales à séparer, ces réactifs sont :



-soit des pseudo-solutions :

les sables, les argiles, la magnétite, la barytine etc...-

3.4 La Flottation

L'enrichissement des minerais lourds par cette méthode est basé sur les différences des propriétés superficielles entre les différentes espèces à séparer.

Dans la flottation dite "directe", les savons et les acides gras sont utilisés comme collecteurs, le silicate de sodium comme déprimant de la gangue.

Dans le cas de la flottation "inverse", sont utilisés comme collecteurs, les acédates d'amine, et comme déprimant, l'amidon sodée.

La flottation de l'Hématite peut être facilement faite du fait que c'est un minéral qui possède de très bonnes propriétés flottantes ; mais il n'existe actuellement aucune installation industrielle, en Algérie, pour la réalisation de cette méthode d'enrichissement.

4. Possibilités de Séparation de BaSO_4 .

Essais d'Elimination de la Barytine

Les quatre méthodes de séparation de la Barytine, vues, déjà, plus haut, appliquées au minerai Barytine de Bou-Khadra, ont donné les résultats suivants :

- 4.1 Séparation de Ba SO₄ par S.M.B.I.

Le minerai de fer de Bou-Khadra est constitué essentiellement d'Hématite, un grillage magnétisant permettrait le passage de Fe₂O₃ à Fe₃O₄, ce qui est nécessaire pour appliquer cette méthode, un simple grillage dans un four tournant à 1000°C environ, comme dans un procédé de préchauffage n'est pas suffisant pour supprimer tout le soufre en association avec l'oxyde de Baryum, ce grillage sera ensuite suivi d'une S.M.B.I. -

Des essais ont été faits dans cette voie, la méthode donne de bons résultats, mais l'application de cette méthode à l'échelle industriel, du point de vue économique s'avère très onéreuse : (installation de fours tournants et de séparateurs magnétique, d'une part, d'autre part, il en résultera une dépense d'énergie considérable, surtout dans les fours tournants, pour élever la température aux environs de 1000°C).

Les frais que nécessite ces installations deviennent trop élevés, et la réduction de l'Hématite en Magnétite suivie d'une séparation magnétique à basse intensité, ne peut être retenue dans les cas du minerai "barytique" de Bou-Khadra.

- 4.2 Séparation de Ba SO₄ par S.M.H.I.

Cette méthode physique est applicable surtout à la séparation des substances para et diamagnétiques, elle semble dès les premiers essais, adaptables au traitement du "Barytique" de Bou-Khadra ; c'est aussi la méthode, et de loin, la moins coûteuse, vu le manque d'eau flagrant, dans la région minière de l'Ouenza - Bou-Khadra, et la disponibilité de l'Energie nécessaire : (Centrale d'El-Aouinet, Centrale électrique de Annaba).

4.3 Séparation de Ba SO₄ par Milieu Dense

Dans cette méthode de traitement, en plus de la granulométrie exigée, un certain nombre de réactifs, généralement inorganiques, sont utilisés :

* Les solutions vraies, qui sont très couteuses, corrosives et toxiques ; elles ne sont, en outre, utilisées que pour la récupération des produits de valeur et quand les débits de ceux-ci sont très faibles ; tels l'or, l'argent etc...-

* Les pseudo-solutions sont les seules économiquement utilisables. Les solutions vraies comme les pseudo-solutions présentent l'avantage de séparer les minéraux ayant des différences de densités très petites.

Dans le cas des minerais de Bou-Khadra, les minéraux sont assez bien liés et qu'il faudrait concasser à -2 mm pour espérer une libération totale des différents espèces minérales ; le minerai étant tendre il faut s'attendre à une formation excessive de fines, ceci dit ; deux problèmes se posent à l'application de cette méthode : tendresse du minerai et granulométrie exigée ; lesquels problèmes s'ils ne sont pas impossibles à résoudre, ne sont pas non plus faciles. Ces deux problèmes affectent considérablement la possibilité de séparer la barytine par milieu dense.

Cette méthode ne peut être retenue pour la séparation des classes granulométriques inférieures à 2 mm ; mais elle peut l'être aux classes supérieures pauvres et dures à la fois.

- 4.4 Séparation de Ba SO₄ par Flottation

Il faut noter que l'Hématite est un minéral qui possède de très bonnes aptitudes à flotter, les essais de séparation de Ba SO₄ par cette méthode avaient conduit à la mise au point d'un schéma satisfaisant du point de vue bilan métallurgique de l'opération, mais non acceptable du point de vue récupération des deux produits :

Hématite et Barytine.

Aussi à l'échelle industrielle il n'existe, actuellement, aucune installation relative à la flottation des minerais de fer, en Algérie, quoique la méthode soit réalisable.

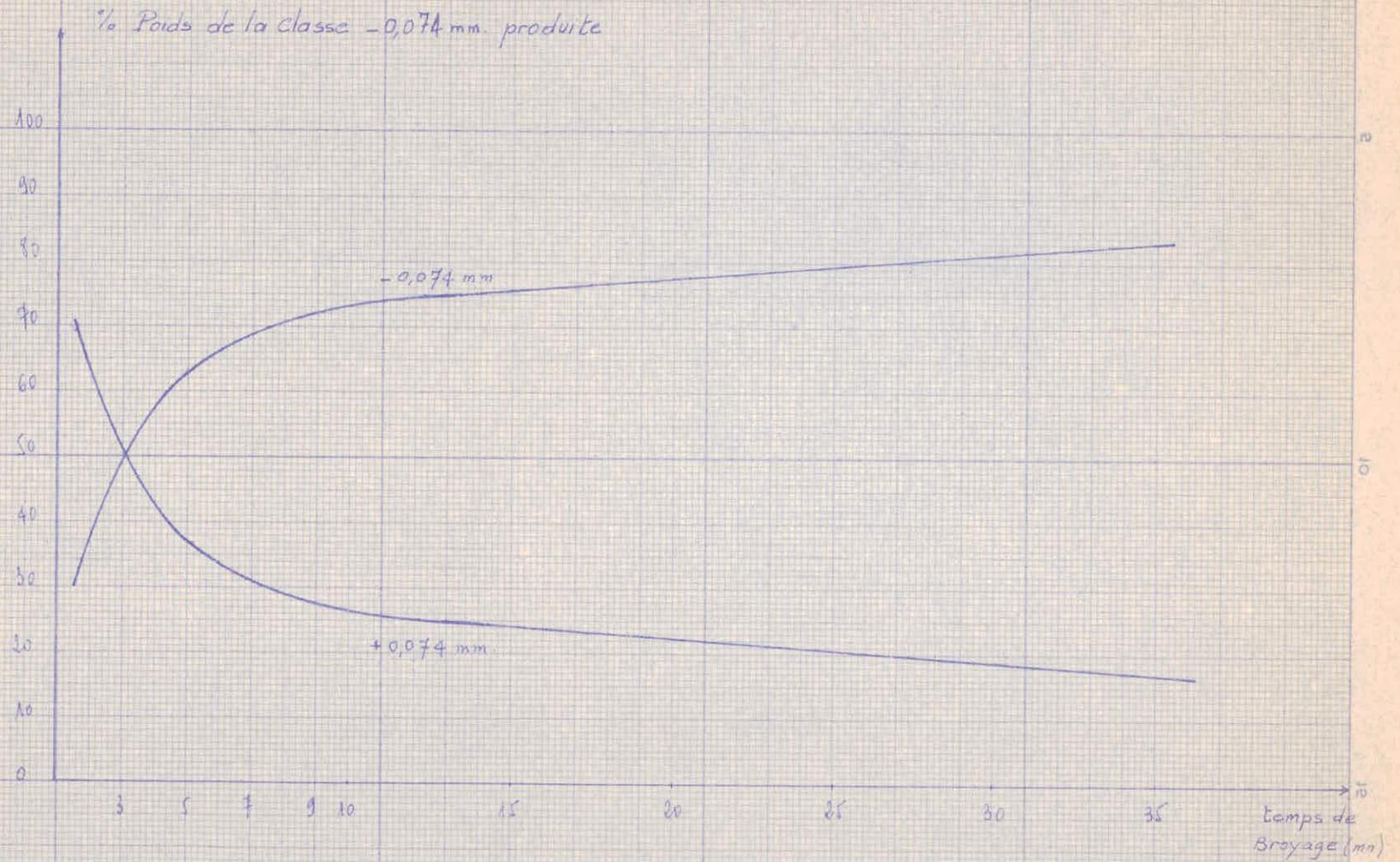
D'autre part la Sidérurgie exigeant des teneurs en fer d'environ 53%, le minerai tout-venant de Bou-Khadra, lui titre 55%, en plus de celà, il faut penser, aussi, que pour appliquer cette méthode, il faut faire un broyage poussé or le minerai concerné est tendre, et par là il faut s'attendre à une formation de schlammes considérable, qui gêneraient énormément la flottation, d'où un deschlammage préalable du minerai s'impose.

Comme la séparation en milieu dense cette méthode ne peut être envisagée dans un premier stade, il n'est pas possible que cette méthode soit retenue dans la suite des travaux concernant le minerai "barytique" de Bou-Khadra.

Broyabilité du Minerai destiné
aux essais de Flottation.

Temps de Broyage	% de la classe -0,074
3'	50
5'	63
10'	72
15'	76
20'	78
25'	79
33'	81
35'	83

Broyabilité du Minéral



5. La Séparation Magnétique à Haute Intensité.

Séparation Magnétique
à Haute Intensité.

C'est la méthode qui paraît être la mieux applicable aux essais d'enrichissement du minerai de fer de Bou-Khadra, vu que l'on a à séparer des matériaux dia et paramagnétiques. L'application de cette méthode nous a permis d'obtenir d'assez bons résultats.

5.1. Théorie de la S.M.H.I.

- a) Intensité d'Aimantation :

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

L'intensité d'aimantation, \vec{J} , exprime le moment magnétique de l'unité de volume de la substance considérée ; l'aimantation spécifique se rapporte à l'unité de masse de la même substance considérée.

- b) Susceptibilité Magnétique.

C'est un scalaire, qui est représenté par le quotient de l'intensité d'aimantation par le champ qui la produit, soit :

$$\vec{J} = \chi_0 \vec{H} \quad \text{--->} \quad \chi_0 = \frac{\vec{J}}{\vec{H}}$$

- c) L'Induction :

L'induction, \dot{B} , est représentée par la somme vectorielle :

$$\dot{B} = \dot{H} + 4 \pi \dot{J}$$

A cet effet, Weiss (1g 41), lui a donné la définition suivante :

"Dans une substance ferromagnétique, l'induction magnétique est identique au champ qui existerait dans une fissure extrêmement mince dont les parois seraient perpendiculaires à l'aimantation".

- d) La Perméabilité :

C'est la quantité $\mu = \frac{\dot{B}}{\dot{H}}$ ou encore : $\mu = 1 + 4 \pi X_0$. Dans les substances ferromagnétiques cette perméabilité est très élevée ; elle est voisine de l'unité pour les corps dia et paramagnétiques, pour lesquels la susceptibilité relative X_0 est de l'ordre de 10^{-6} C.G.S., on a donc ; que le passage de grains de matière dans l'entrefer d'un aimant ne modifie en rien les caractéristiques résidant dans cet entrefer.

- e) La Susceptibilité de Matière :

Le champ démagnétisant est lié au champ extérieur par la relation : $\dot{H}_d = N \dot{J}$, relation dans laquelle N représente le coefficient de démagnétisation. A l'intérieur d'un corps se manifeste donc un champ lié au champ extérieur par la relation : $\dot{H}_i = \dot{H} - \dot{H}_d$; on définit aussi la susceptibilité de matière, X_1 , par $X_1 = \frac{\dot{J}}{\dot{H}_i}$ avec $X_0 = \frac{\dot{J}}{\dot{H}}$. On voit donc que X_0 et X_1 sont liés par : $X_0 = \frac{X_1}{1 + NX_1}$; \dot{H}_i (N lié à la forme géométrique du corps)

Forces Agissantes sur un Corps
placé dans un Champs Magnétique

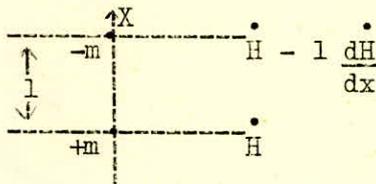
Un corps placé dans un champ magnétique est soumis, quelle que soit sa nature, à un certain nombre de forces que nous allons examiner successivement.

- a) Champ Homogène et Champ non-Homogène :

On appelle champ magnétique homogène, un champ dans lequel une particule subit un mouvement rotatoire de façon à se placer dans un sens perpendiculaire à celui des lignes de forces. Dans un champ non-homogène la particule subit en plus du mouvement rotatoire, l'action des forces soit de répulsion ($X_0 < 0$) soit d'attraction ($X_0 > 0$).

- b) Action des Forces :

Pour mieux caractériser les champs magnétiques non-homogène on utilise le paramètre dit : "Gradient de Tension", il exprime la variation des tensions dans le sens de la variation du champ magnétique, il peut alors s'écrire :



$$\text{grad } \dot{H} = \frac{d\dot{H}}{dx}$$

*Force s'exerçant au niveau \dot{H} : $\dot{f}_{+m} = m\dot{H}$

*Force s'exerçant au niveau

$$\dot{H} - l \frac{d\dot{H}}{dx} : \dot{f}_{-m} = m \left(\dot{H} - l \frac{d\dot{H}}{dx} \right)$$

La force s'exerçant finalement sur le corps est : $\dot{F}_m = \dot{f}_{+m} - \dot{f}_{-m} = ml \cdot \frac{d\dot{H}}{dx}$

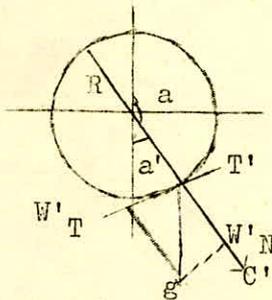
or m.l.M est donné par : $\dot{J} = X_0 \dot{H} \rightarrow \dot{M} = X_0 V \dot{H}$; soit : $\dot{F}_M = V X_0 \dot{H} \frac{d\dot{H}}{dx}$

Nous avons aussi la force relative : $\dot{F}'_M = \frac{\dot{F}_M}{GV} = \frac{X_0}{G} \cdot \dot{H} \cdot \frac{d\dot{H}}{dx}$

soit $\dot{F}'_M = X_1 \dot{H} \text{ grad } \dot{H}$

- c) Mécanisme de la Séparation (Séparation à Tombour)

La particule est soumise durant la séparation à trois (3) forces principales qui sont :



- La force Centrifuge = $m \dot{w}^2 R$
- La force de pesanteur = mg
- La force magnétique = \dot{F}'_M

Nous supposons que le grains est accolé au tombour du séparateur pour que ceci soit réalisé, il faut avoir :

$$\dot{T}' \geq \dot{W}'_T \quad \text{avec} \quad \dot{T}' = \dot{f}N = f (\dot{F}'_M - \dot{W}'_N - \dot{C}')$$

Relation dans laquelle f représente l'angle de frottement soit $f = \text{tg } b$

$$\dot{T}' = \text{tg } b (\dot{F}'_M - \dot{W}'_N - \dot{C}') \quad \text{avec} \quad \dot{F}'_M = X_1 \dot{H} \text{ grad } \dot{H}$$

$$\dot{W}'_N = g \text{ cosa}' = g \text{ cos}(360-a) = -g \text{ cosa}$$

$$\dot{C}' = \frac{\dot{V}^2}{R}$$

d'où $\dot{T}' = \text{tg } b (X_1 \dot{H} \text{ grad } \dot{H} + g \text{ cosa} - \frac{\dot{V}^2}{R})$

Ceci pouvant s'écrire aussi

$$\text{tg } b (X_1 \dot{H} \text{ grad } \dot{H} + g \text{ cosa} - \frac{\dot{V}^2}{R}) \geq g \text{ sina}$$

ce qui donne :

$$|\dot{F}'_M| \geq g \left(\frac{\sin(a-b)}{\sin b} \right) + \frac{\dot{V}^2}{R}$$

- d) Susceptibilité Magnétique des Minéraux :

Dans les tableaux suivants nous avons recueilli quelques minéraux avec leur susceptibilité magnétique en fonction de la granulométrie.

Minéraux de Fer	d(mm)	X(R) / $\sqrt{\text{cm}^3/\text{g}}$
Sidérite	0,83-0	47 . 10^{-6}
Hématite	1 - 0	292 . 10^{-6}
Limonite	0,83-0	80 . 10^{-6}
Goethite	0,83-0	30 . 10^{-6}
Ankérite	0,83-0	27 . 10^{-6}

Minéraux n. ferrifères	d(mm)	X(R) / $\sqrt{\text{cm}^3/\text{g}}$
Quartz	0,83-0	10 10^{-6}
Calcite	"	3 10^{-6}
Tétraèdrite	"	10 10^{-6}
Malachite	"	15 10^{-6}
Azurite	"	1 10^{-6}
Barytine	"	5 10^{-6}
Fluorite	"	4,8 10^{-6}
Galène	"	-3,5 10^{-6}
Pyrite	"	7,6 10^{-6}

Classification Magnétique
des Corps.

Pour pouvoir appliquer, d'une façon efficace, une séparation magnétique quelconque on classe les corps suivant leur aptitudes dans un champ magnétique en ce sens nous avons :

- a) Les Diamagnétiques :

Ils sont caractérisés par une $\chi_0 < 0$ et petite, de l'ordre de 10^{-6} C.G.S. et indépendante du champ magnétique. Placée dans un champ non-homogène, une substance diamagnétique est soumise à une force magnétique négative et dirigée en sens inverse du "Gradient de Tension".

- b) Les Paramagnétiques :

Ils sont caractérisés par une $\chi_0 > 0$, petite et de l'ordre de 10^{-6} C.G.S., et indépendante de H. Dans un champ magnétique non-homogène, une substance paramagnétique est soumise à une force dirigée dans le même sens que le "Gradient de Tension", ce qui fait que celle-ci est attirée vers les zones de champ fort.

- c) Les Ferromagnétiques.

Ce sont des corps solides qui, comme, le fer, le Nickel, le cobalt, sont caractérisés par une susceptibilité magnétique positive et très grande. Placés dans un champ non-homogène, les ferromagnétiques sont très fortement attirés vers les zones de champ fort.

5.2. Paramètres de Réglage du Séparateur

à Galet de l'E.N.P.A.

Avant de commencer les essais, nous devons connaître, avant tout, l'influence des différents paramètres de réglage, du séparateur utilisé, sur le minerai à étudier.

- a) Influence de l'Intensité du Champ :

Entre 3,5 et 7,5 ampères, le champ magnétique varie entre 9000 et 12000 OERSTEDS, son influence sur la séparation des minéraux est très importante.

- b) Influence du Débit d'Alimentation :

Nous savons que le débit d'Alimentation, optimal, du séparateur de l'Ecole se situe entre 3 et 5 Kg/h. Nous, pour les essais sur le minerai de Bou-Khadra, ce débit a été fixé à 4 kg/h. Nous avons constaté que plus ce débit augmente et plus le rendement-poids diminue.

- c) Influence de la Granulométrie:

En plus des forces magnétiques et mécaniques, s'exercent également des forces d'attraction intergranulaires, de sorte qu'en pratique on ne peut traiter un matériau dont les dimensions sont inférieures à 0,1mm. La limite granulométrique supérieure est de 3mm et elle est en général liée à la possibilité de créer un champ magnétique d'une intensité suffisamment élevée, et aussi au degré de libération des minéraux.

On remarque que les classes comprises entre ≈ 5 mm et 0,1 mm se séparent aisément.

- d) Influence de la position du Volet de Coupure :

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

- e) La forme du Corps Induit :

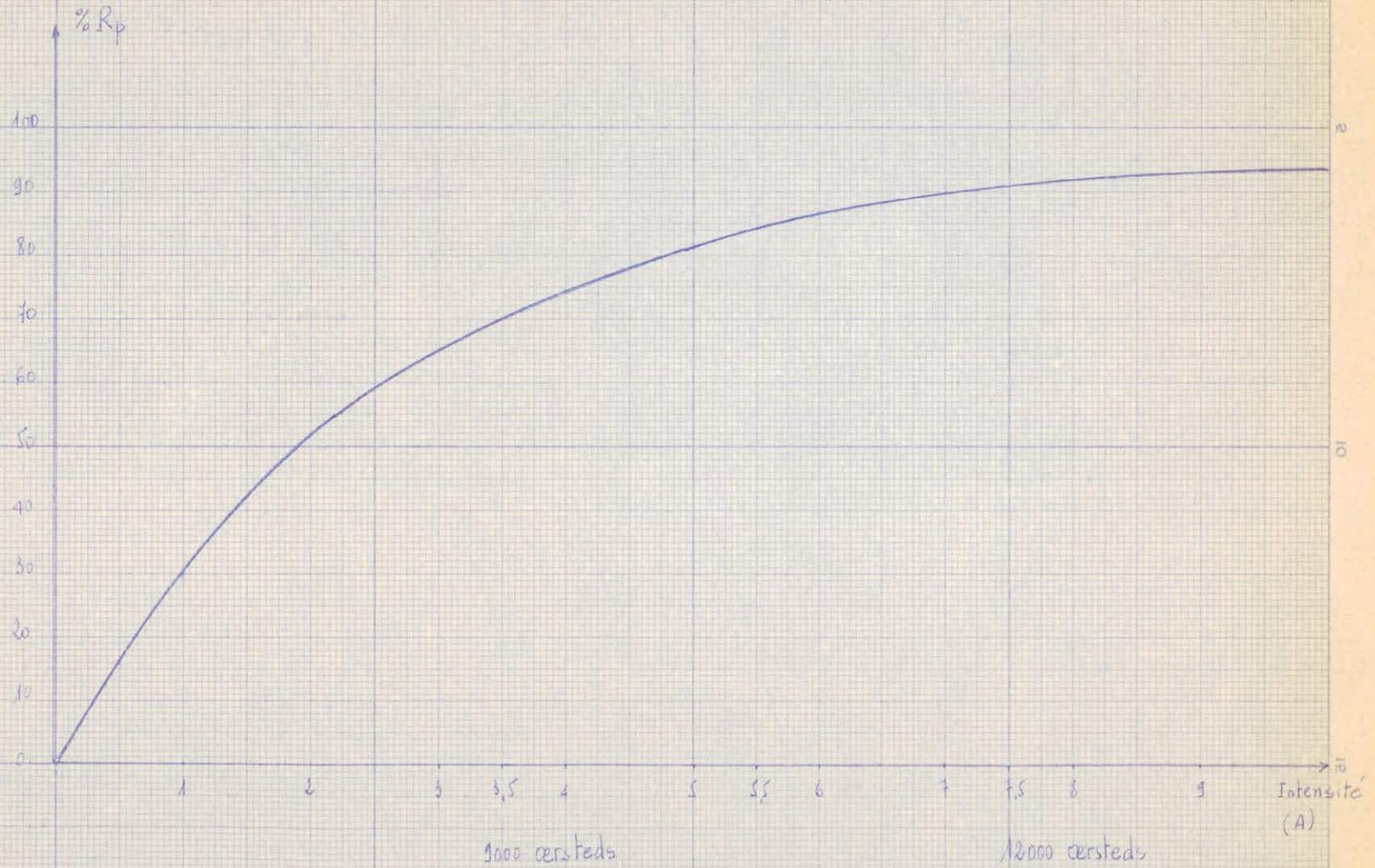
Elle influe beaucoup sur le champ dans l'entre-fer. Sur notre séparateur, on ne dispose que d'une seule forme de pièce polaire.

La vitesse de rotation du galet modifie la force centrifuge ; cette vitesse est constante sur notre appareil.

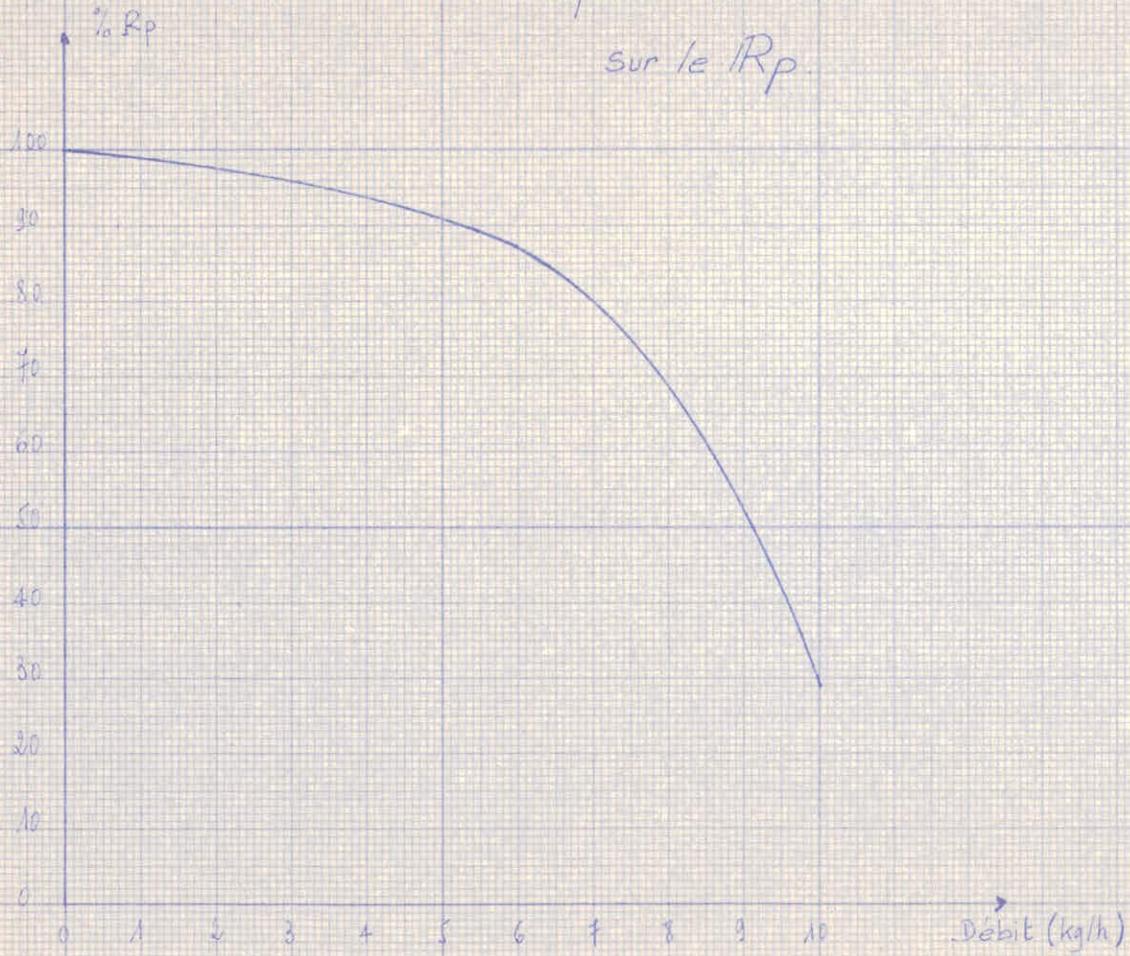
Caractéristiques Techniques du Séparateur
Magnétique à Galet

1	Encombrement	Longueur	845 mm
		Largeur	450 mm
		Hauteur (sans étui)	537 mm
		Hauteur (avec étui)	587 mm
2	Poids du Séparateur (sans Redresseur)		162 kg
3	Dimensions Maximales des grains à l'Alimentation		2 mm
4	Rendement Horaire		3 à 5 kg/h
5	Intensité du champ à	3,5 A	9000 à 10000 OE
		5,5 A	10500 à 11000 OE
		7,5 A	11500 à 12000 OE
6	Susceptibilité Magnétique Nominale des minéraux à Séparer		$30 \cdot 10^{-6}$
7	Tension Nominale dans la Bobine		20 ; 33 ; 45 V
8	Courant admissible dans la Bobine		
	-Au fonctionnement Continu		3,5 A
	-2 heures de pause pour 2 h de Fonctionnement		5,5 A
	-2 heures de pause pour 1 h de Fonctionnement		7,5 A
9	Puissance Nominale Consommée par la Bobine		450 W
10	Vitesse de Rotation du Galet		55 t/mn
11	Nombre de mouvements de va - et - vient		1000/mn
12	Moteur Électrique	Type	40 P 21 - 4
		Puissance en W	270
		Nombre de Tours	1400 t/mn
		Tension d'Alimentation	220/380

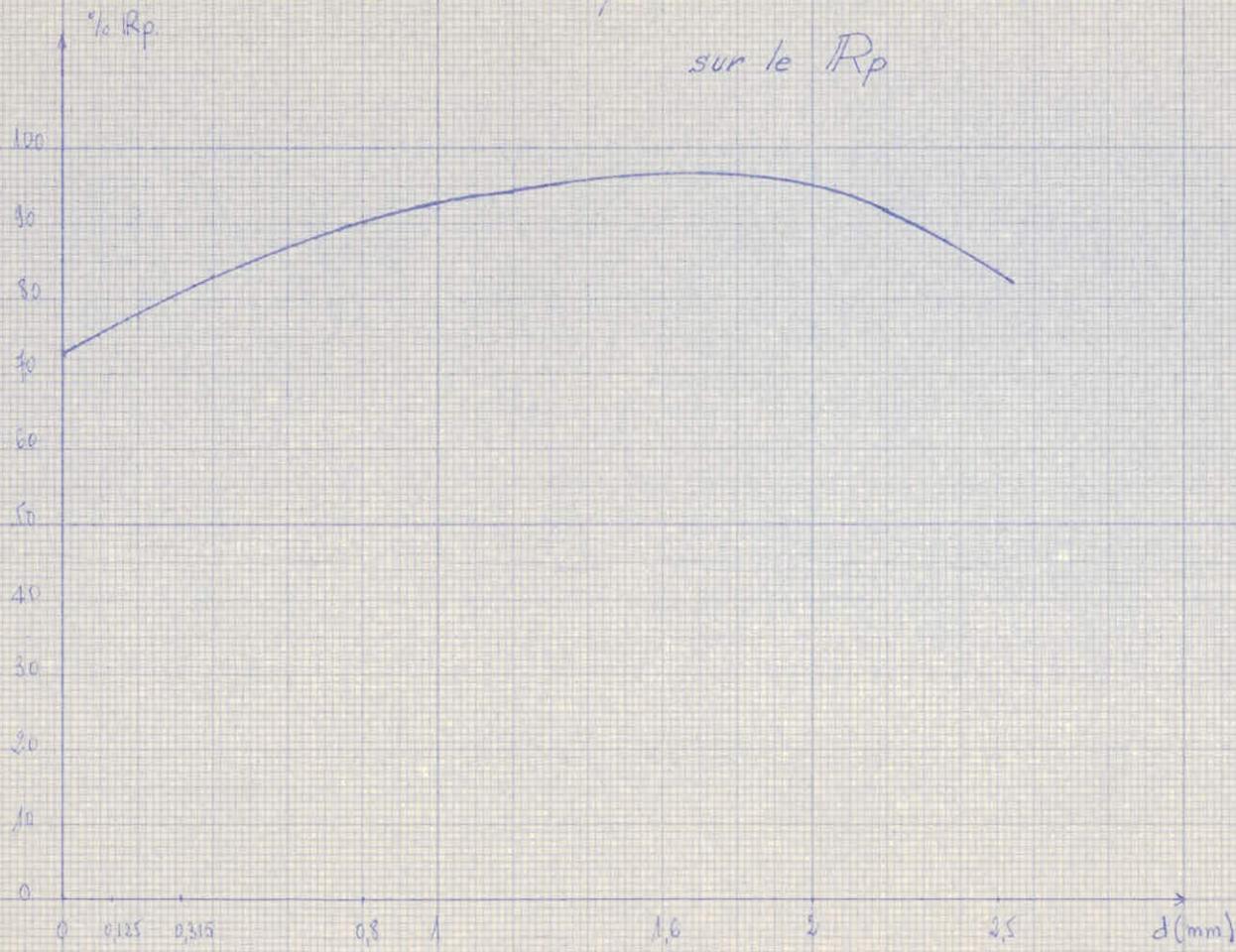
Influence de l'intensité du champ
sur le Rp.



Influence du Débit
sur le Rp



Influence de la Granulométrie.
sur le Rp



5.3. Essais de Séparation Magnétique

à Haute Intensité du Minerai de Bou-Khadra

L'objet principal de cette étude est de séparer le minerai de fer des éléments nuisibles à l'élaboration des métaux, tels que le Soufre, le Phosphore, qui ne sont tolérés qu'en quantités très faibles.

Dans le cas du minerai de fer de Bou-Khadra, c'est le soufre que l'on cherche à éliminer, il s'y trouve sous forme de combinaison chimique avec l'oxyde de Baryum. On essayera de réduire la teneur en $Ba\ So_4$, tout en essayant de diminuer le capital à investir, ce qui revient au même que de diminuer le volume des installations, de l'usine à prévoir, pour la fragmentation et le traitement, sachant que le coût de la fragmentation est de loin supérieur au coût du traitement.

Le but principal de ces essais est de donner un schéma d'enrichissement du minerai de fer, dans un premier stade, dans un second stade, on envisagera la possibilité d'établir un schéma de récupération de la barytine, dans le but d'amortir si possible les frais de fragmentation du minerai. Pour cela tout le travail effectué a été basé sur les analyses minéralogique et chimique du minerai, ces analyses ont été faites aux différentes étapes de l'enrichissement.

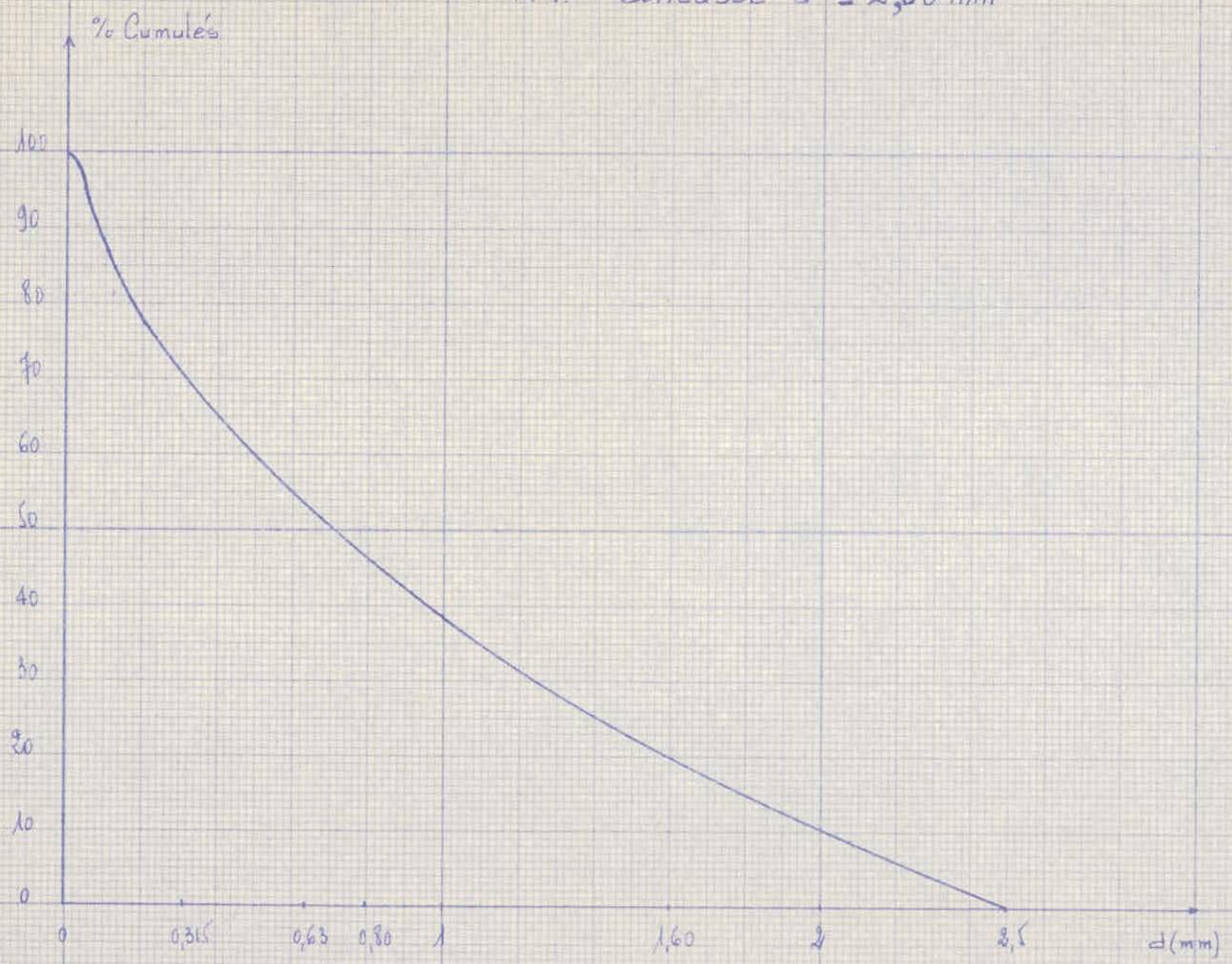
Analyses Granulométrique et Chimique
du T.V. Concassé à -2 mm destiné aux
essais de Séparation

Classes	% Poids	Teneurs	
		% Fer	% Ba SO ₄
-2 / + 1	20,40	54,8	2,12
-1 / + 0,63	18,25	54,8	2,20
-0,63/+0,315	17,50	54,5	2,42
-0,315/+0,160	15,25	55,3	3,12
-0,160/+0,074	11,25	54,3	3,50
-0,074	17,35	56,8	2,32

Toutes les classes ont sensiblement la même teneur en fer, sauf les fines qui sont plus riches, ce qui est normal, vu le minerai, Hématite, de Bou-Khadra est un minerai chargé d'oxyde, il est tendre donc friable.

Dans le tableau ci-dessus on constate que les teneurs en barytine augmentent progressivement pour atteindre la valeur maximale de 3,50% dans la classe (-0,160/+0,074 mm) ensuite cette teneur baisse brusquement jusqu'à 2,32%, dans les fines.

Analyse Granulométrique du Minerai
T.V. Concassé à - 2,50 mm

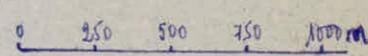
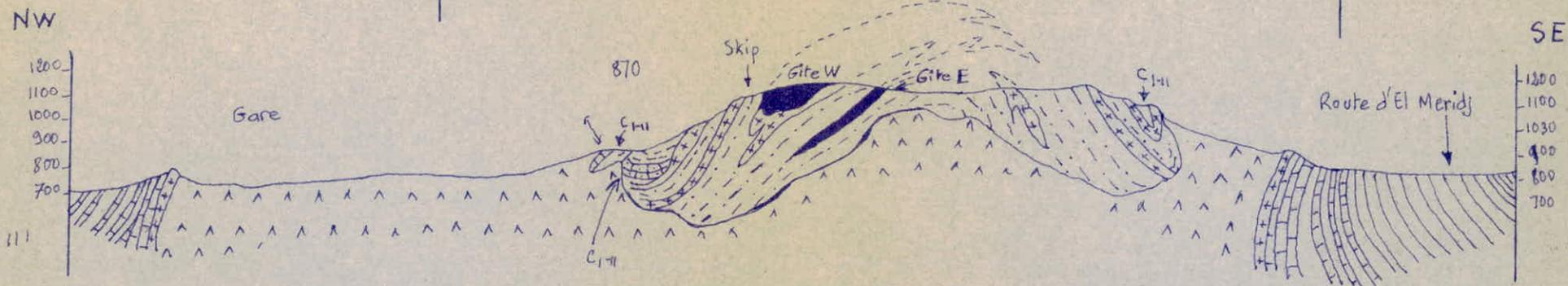
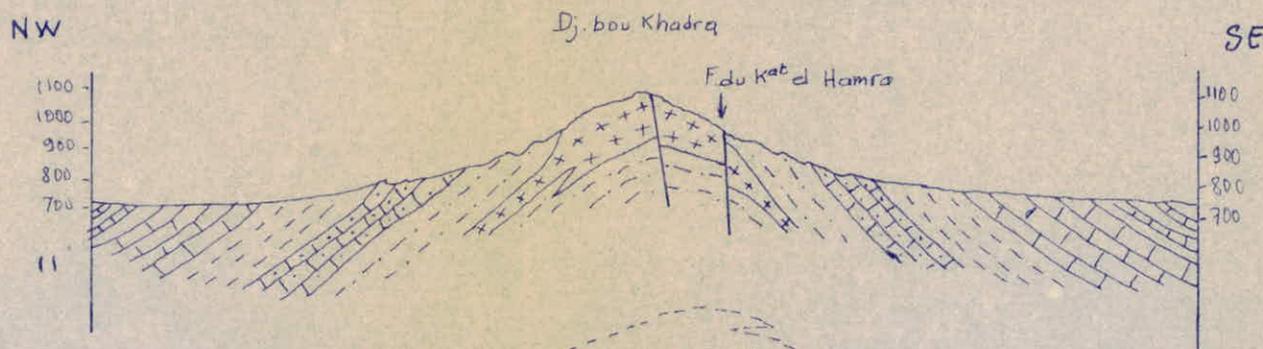
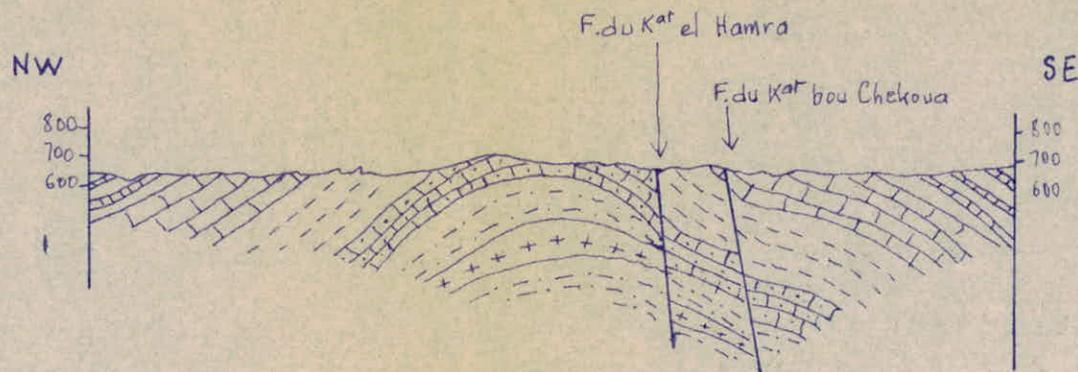


Essais :

Tous les essais effectués ont été faits sur du minerai concassé à - 2mm ; à cet effet plusieurs opérations de séparation ont été faites sur du minerai T.V., sans séparation préalable des différentes classes granulométriques ; mais ces essais n'ont donné aucun résultat satisfaisant pouvant être retenu. Du fait que l'on a à traiter un minerai assez tendre, lequel soumis à la préparation mécanique, fournit une quantité considérable de schlamms, sans oublier qu'avec cela on assiste à l'écrasement des grains de quartz et de barytine déjà libérés, ce qui entraîne par conséquence l'augmentation de leurs teneurs dans les classes fines, et par là leur séparation devient de plus en plus difficile.

Tous les essais entrepris sans séparation de classe n'ont donné aucun résultat effectif, bien que toutes les combinaisons possibles, de coupure, de débit d'alimentation et d'intensité aient été essayées. Les fines, généralement d'Hématite, enrobent les particules stériles et les entraînent dans le concentré, par ailleurs les particules minérales soumises à la somme des forces, centrifuge, de pesanteur et magnétique, il sera plus aisé de séparer les grains d'une même classe, étant donné que : $F = mw^2R$ et $P = mg$; seraient presque constantes, vu que les particules d'une même classe sont sensiblement de masses égales. Une séparation du minerai en tranches granulométriques est d'une importance capitale, et que sans cela aucune séparation magnétique effective ne pourrait être possible.

COUPES DANS L'ANTICLINAL DE B. KHADRA



-  Cénomaniens supérieur
-  " inférieur
-  Vraconnien
-  Albien supérieur et moyen
-  Albien inférieur

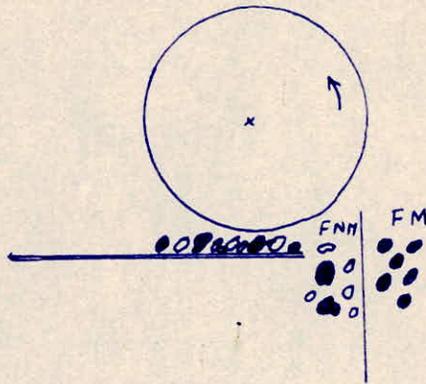
-  Zone de Clansayes
-  C₁₋₁₁ Aptien (marnes, grès et calcaires)
-  + Aptien (calcaires récifaux)
-  Trias
-  Minéral de fer

/ F. Faille

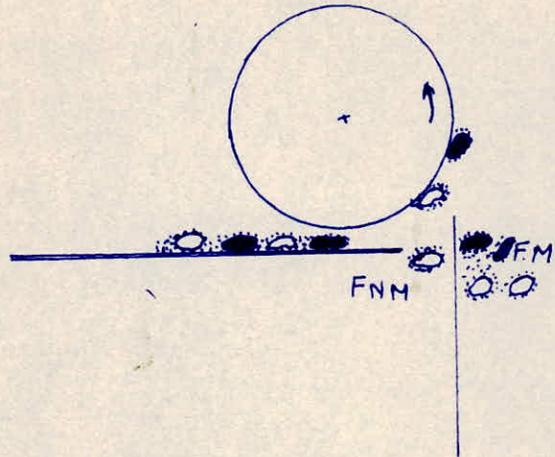
∨ Contact anormal.

Influence de la Granulométrie sur la séparation Magnétique.

1^{er} Cas: Effet des gros grains.



2^{ème} Cas: Effet des fines.



Essais Préliminaires :

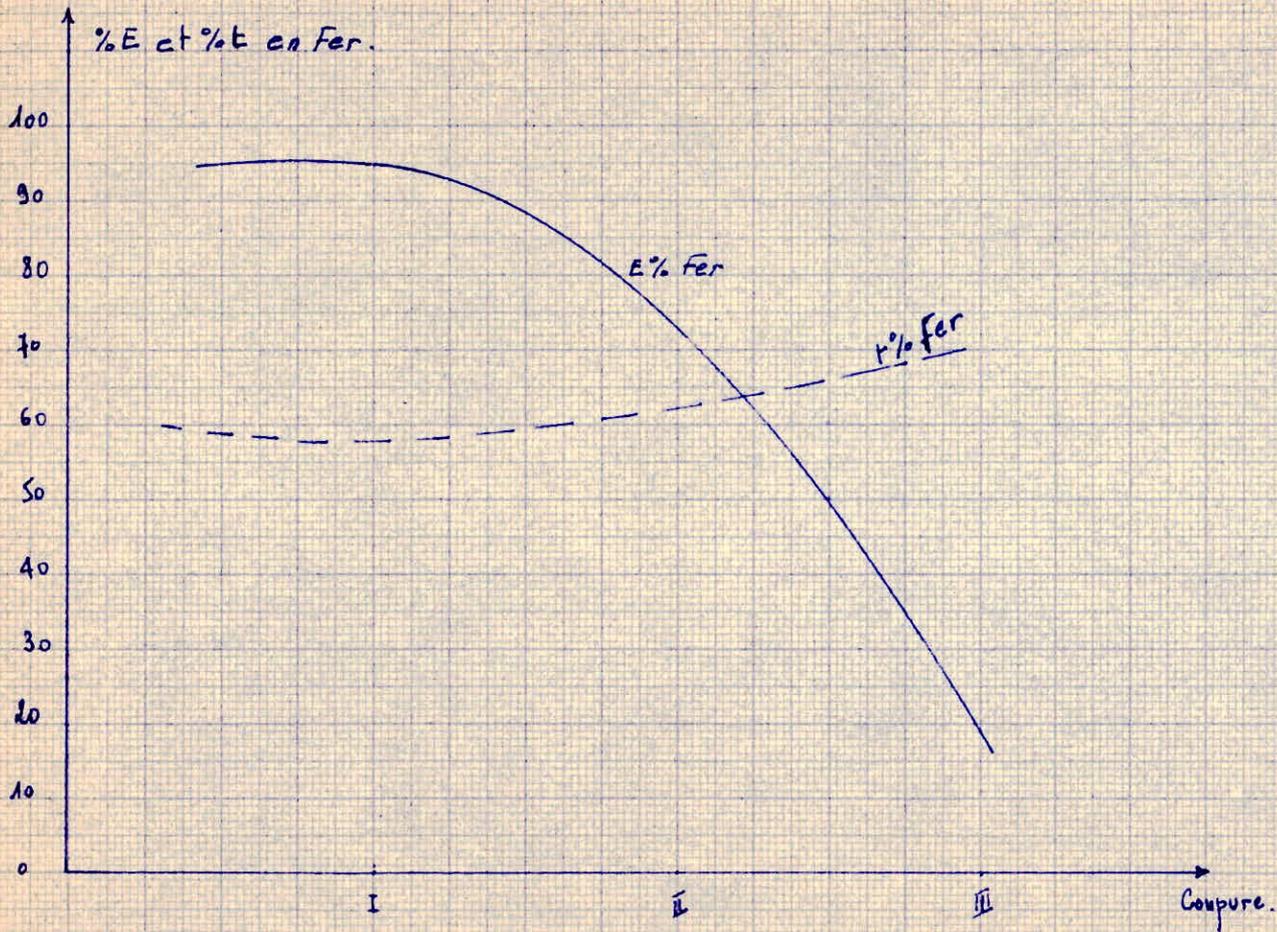
Classes	F . M .			Récupération		F . N . M .			Récupération	
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
-2 +0,315	23,25	58,6	0,50	63,4	12,9	16,15	48,7	2,70	36,6	87,1
-0,315	49,85	52,2	2,40	83,7	58,7	10,75	51,3	5,20	16,3	41,3

Cet essai a été fait à 7,5 A ; toute la masse de l'échantillon (2000 g) titrant 55% en fer et 2,53% en barytine, a été divisée en deux tranches granulométriques assez espacées. Cette mauvaise séparation est due au fait que les particules d'une même classe ne possèdent pas des masses assez proches (action de la force de pesanteur), en plus dans la seconde classe, les particules d'Hématite, très fines entraînent les particules relativement grosses, stériles ou non pour les entraîner dans la fraction magnétique. Le même phénomène a été constaté pour des intensités supérieures ou inférieures à 7,5 A.

Du point de vue récupération moyennes, elles sont d'environ : 70% pour le fer dans la fraction magnétique et 64% pour BaSO₄ dans la F.N.M. Pour un premier étage cette récupération est bonne, mais les teneurs en Barytine sont encore élevées dans la F.M.

Sur la base de ces premiers essais, il a été possible de faire une répartition granulométrique, qui permettrait à la fois une bonne séparation et une bonne récupération des deux produits : fer et barytine.

Récupération et teneurs en Fer
en fonction de la Coupure.



I^e Etage Intensité : 5,5 A

Classes	T.V			F.M. (I)			Récupération	
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
-2/+1	20,40	54,8	2,12	9,90	63,7	0,06	56,3	1,5
-1/+0,63	18,25	54,8	2,20	9,80	62,7	0,04	61,5	1,2
-0,63/+0,315	17,50	54,5	2,42	10,00	62,8	0,04	65,7	1,0
-0,315/+0,160	15,25	55,3	3,12	8,75	63,5	0,07	65,7	1,2
-0,160/+0,074	11,25	54,3	3,50	6,40	64,1	0,09	67	1,5
-0,074	17,35	56,8	2,32					

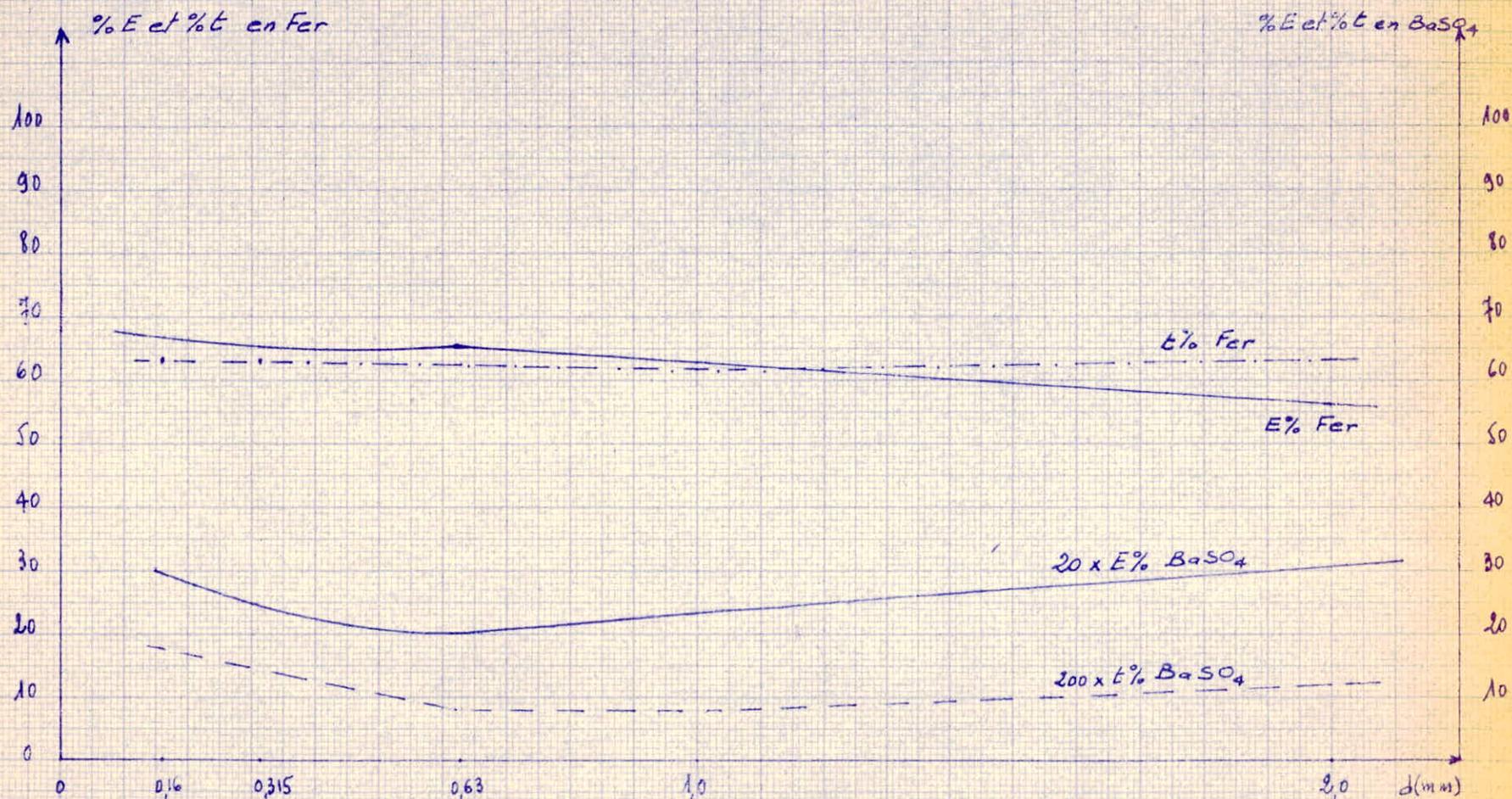
Classes	F.N.M. (I)			Récupération	
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
-2/+1	10,50	46,7	4,05	43,7	98,5
-1/+0,63	8,45	45,5	4,70	38,5	98,8
-0,63/+0,315	7,50	43,6	5,60	34,3	99,0
-0,315/+0,160	6,50	44,5	7,25	34,3	98,8
-0,160/+0,074	4,85	41,7	8,00	33	98,5

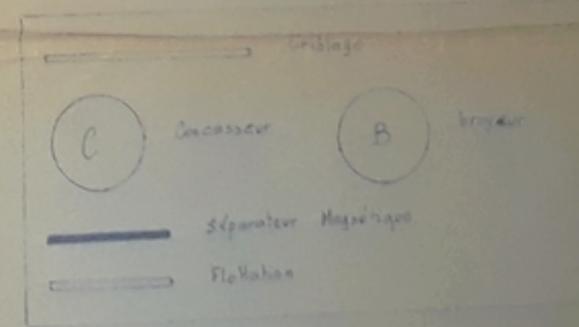
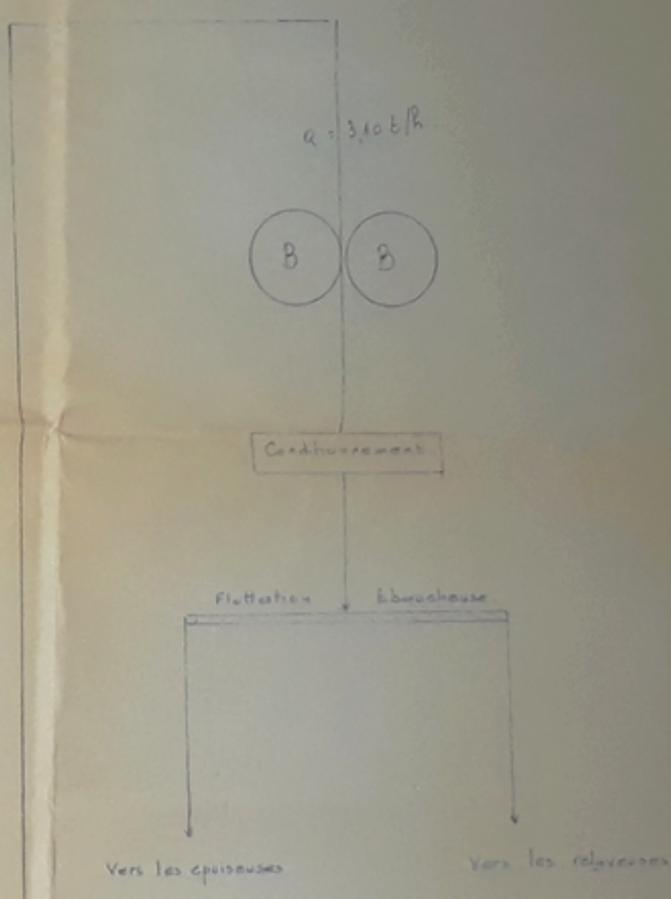
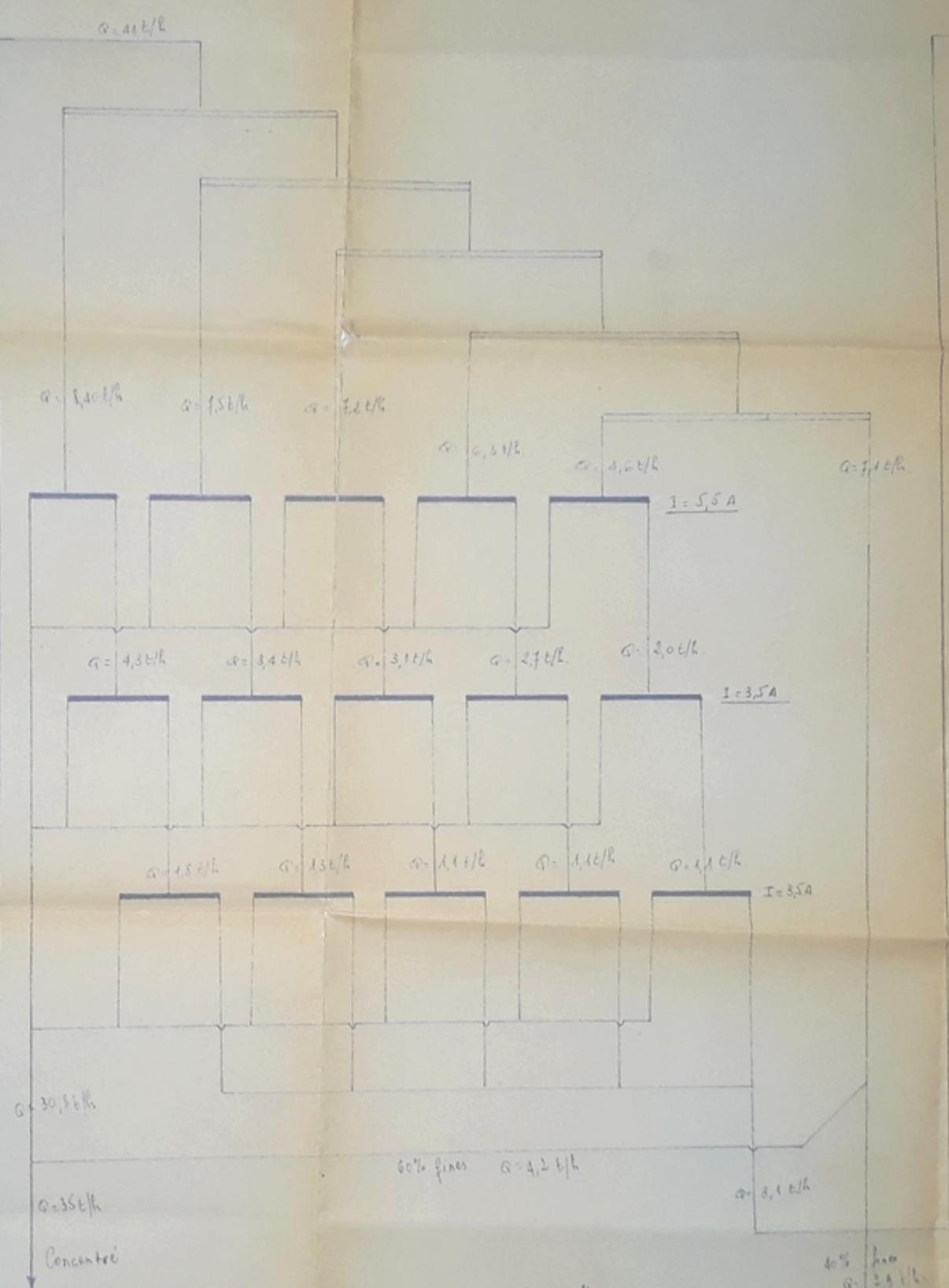
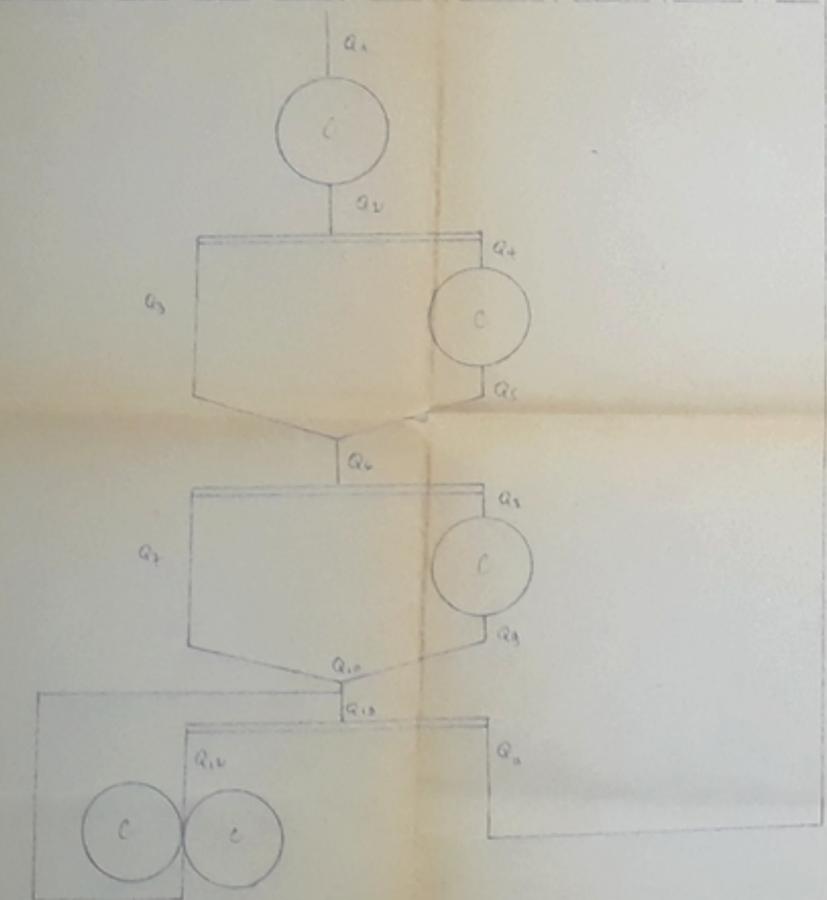
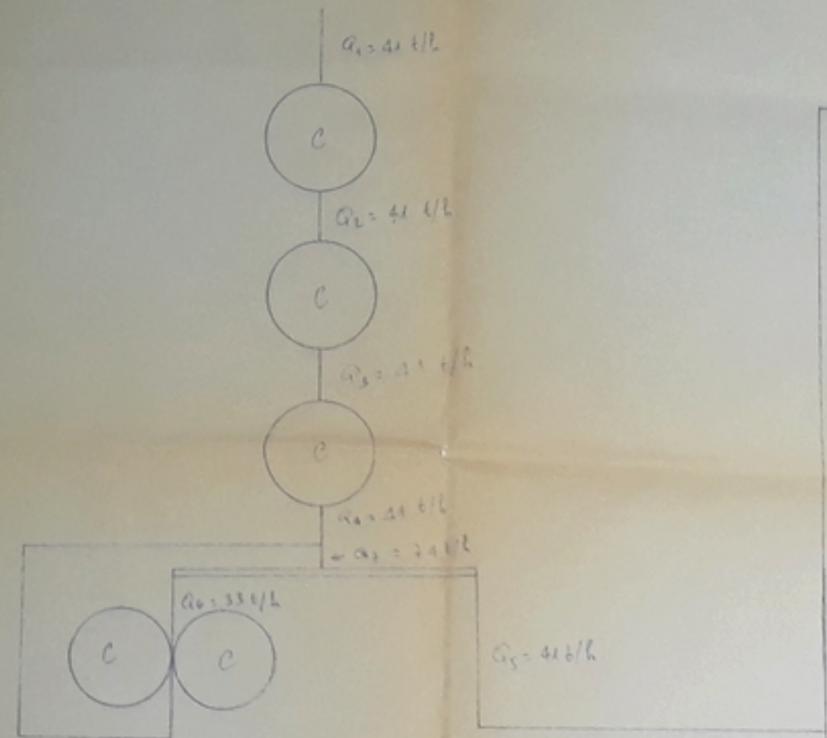
Récupérations Moyennes

* Fer dans F.M(I) : 62,5%

* BaSO₄ dans F.N.M(I) : 98,6%

Influence de la Granulométrie
 sur la Récupération et la teneur à 5,5 A.
 dans la F.M.





avant P "GA"
 PLO0373

I^e Etage Intensité : 7,5 A

Classes	T.V.			F.M. (I)			Récupération	
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
- 2/+1	20,40	54,8	2,12	11,20	61,3	0,08	61,2	2,0
-1/+0,63	18,25	54,8	2,20	11,20	61,0	0,06	68,3	2,0
-0,63/+0,315	17,50	54,5	2,42	12,00	60,0	0,07	75,5	2,2
-0,315/+0,160	15,25	55,3	3,12	9,60	61,8	0,07	70,2	1,5
-0,160/+0,074	11,25	54,3	3,50	6,90	61,5	0,12	68,1	2,5

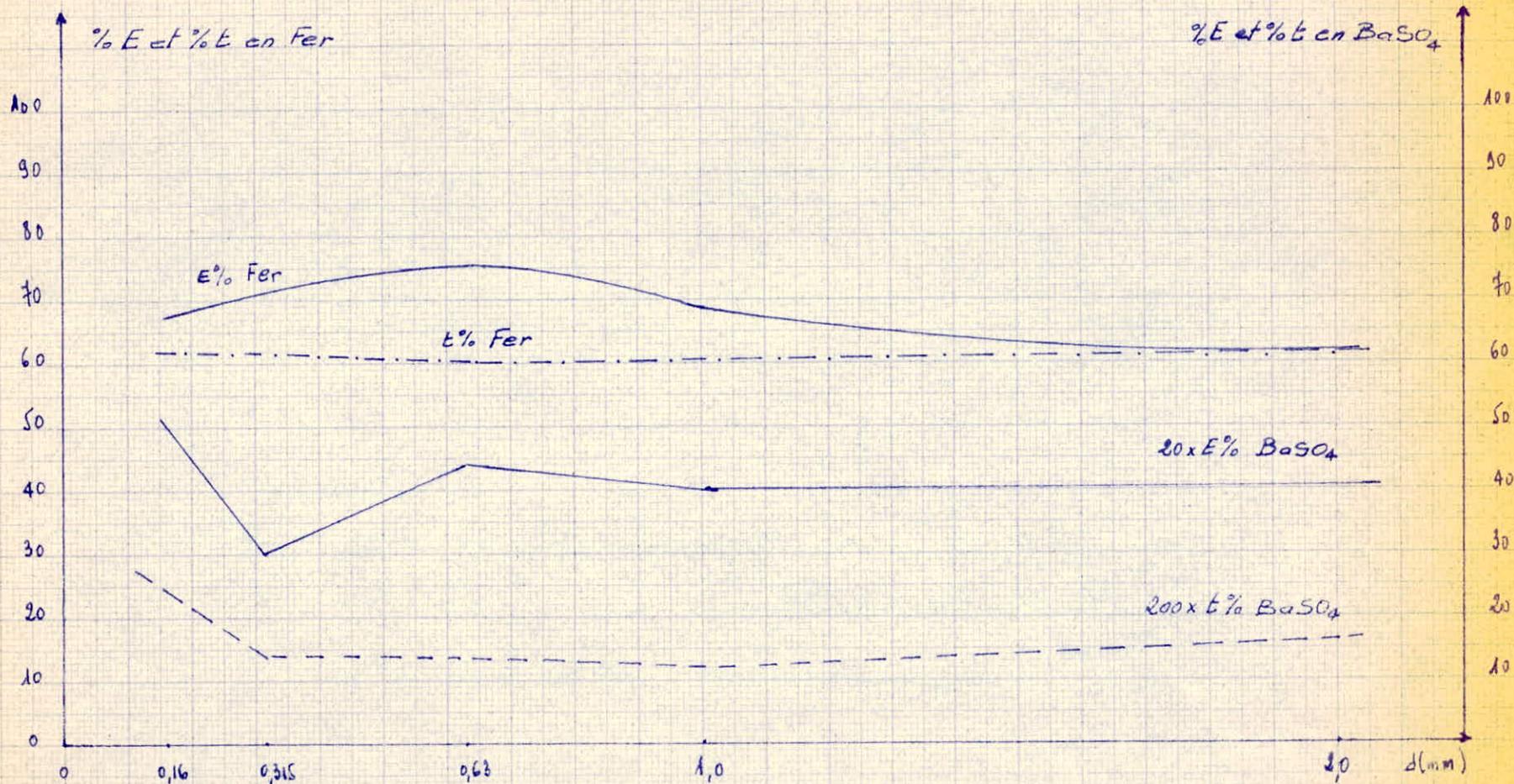
Classes	F.N.M. (I)			Récupération	
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
-2/+1	9,20	47,2	4,60	38,8	98,0
-1/+0,63	7,05	45,0	5,60	31,7	98,0
-0,63/+315	5,50	42,7	8,10	24,5	87,8
-0,315/+0,160	5,65	44,6	8,30	29,8	98,5
-0,160/+0,074	4,35	43,0	8,85	31,9	97,5

Récupérations Moyennes :

* Fer dans F.M. (I) : 68,6%

* BaSO₄ dans F.N.M (I) : 97,6%

Influence de la Granulométrie
 sur la Récupération et la teneur à 7,5 A.
 dans la F.M.



I^e Etage Intensité : 10 A

Classes	T.V.			F.M. (I)			Récupération	
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
-2/+1	20,40	54,8	2,12	11,18	61,3	0,08	61,0	2,0
-1/+0,63	18,25	54,8	2,20	11,20	61,0	0,07	68,0	2,1
-0,63/+0,315	17,50	54,5	2,42	12,05	60,0	0,07	75,0	2,2
-0,315/+0,160	15,25	55,3	3,12	9,60	61,8	0,08	70,5	1,6
-0,160/ 0,074	11,25	54,3	3,50	7,05	61,5	0,13	70,0	2,5

Il a été constaté que le rendement de la séparation et les récupérations augmentent de façon notable avec l'intensité du champ, jusqu'à une certaine valeur de celle-ci.

Les résultats obtenus à 7,5 et à 10 ampères ne sont pas sensiblement différents ce qui tiendrait à indiquer, soit qu'à partir de 7,5 A, le circuit magnétique a atteint sa saturation, soit qu'à la même intensité (7,5 A) la force magnétique produite est suffisante pour dévier, en un passage toutes les particules d'Hématite susceptibles de l'être à cette intensité.

Récupération Moyennes :

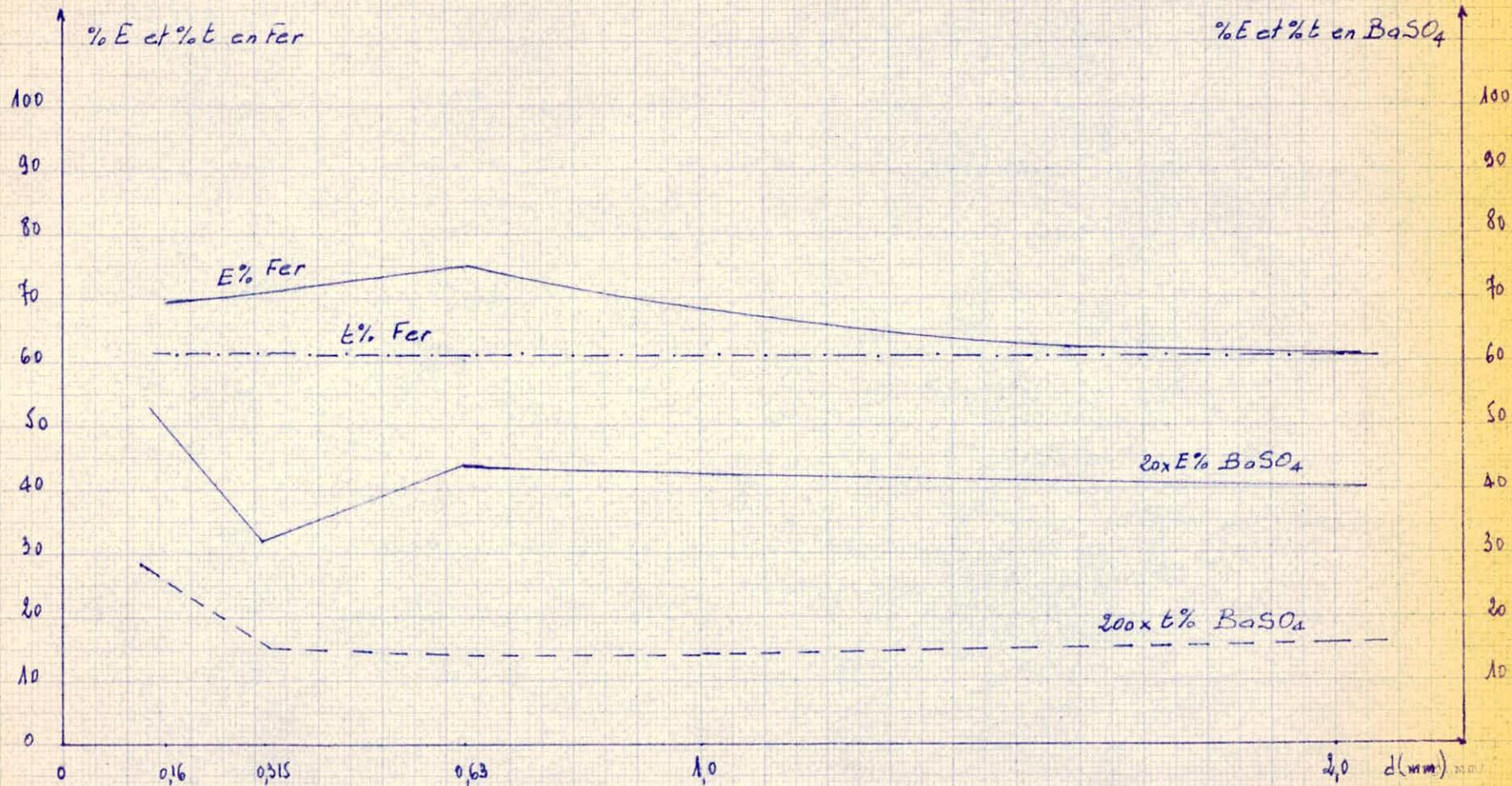
* Fer dans F.M. (I) : 68,8%

* BaSO₄ dans F.N.M. (I) : 97,5%

Influence de la Granulométrie.

sur la Récupération et la teneur à 10 A.

dans la F.M.



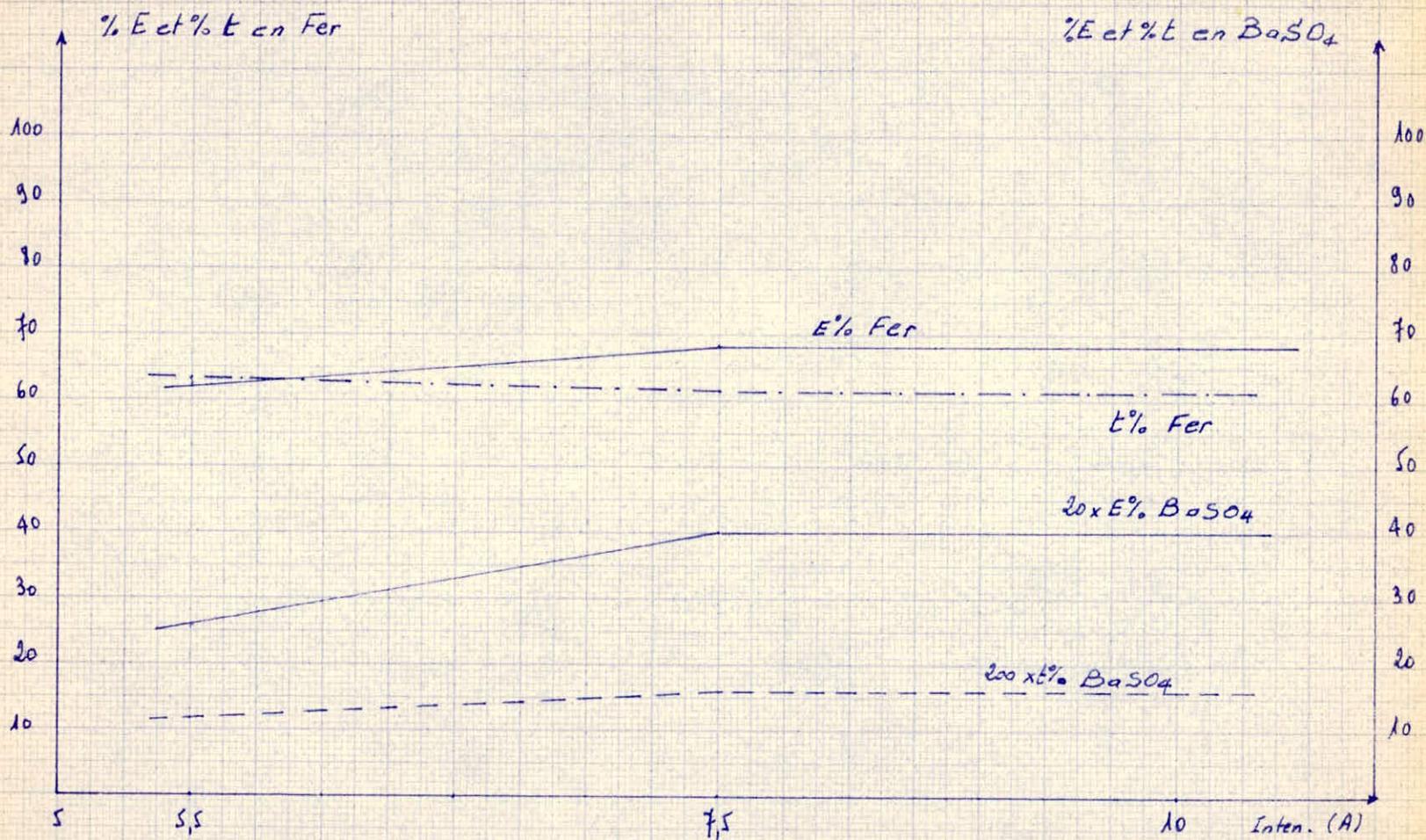
Influence de l'Intensité sur la récupération

Dans le cadre suivant ont été consignées les récupérations et les teneurs moyennes, relatives à des intensités différentes, dans la fraction Magnétique

Intensité	Récupération		Teneurs	
	Fer	BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
5,5	62,5	1,3	63	0,06
7,5	68,6	2,0	61,5	0,08
10	68,8	2,0	61,5	0,08

Le choix du premier étage à une intensité de 5,5 A a été motivé par une bonne séparation des deux éléments, à savoir Fer et BaSO₄.

Récupérations et Teneurs dans la F.M. en fonction de l'Intensité



Séparation du II^e Etage

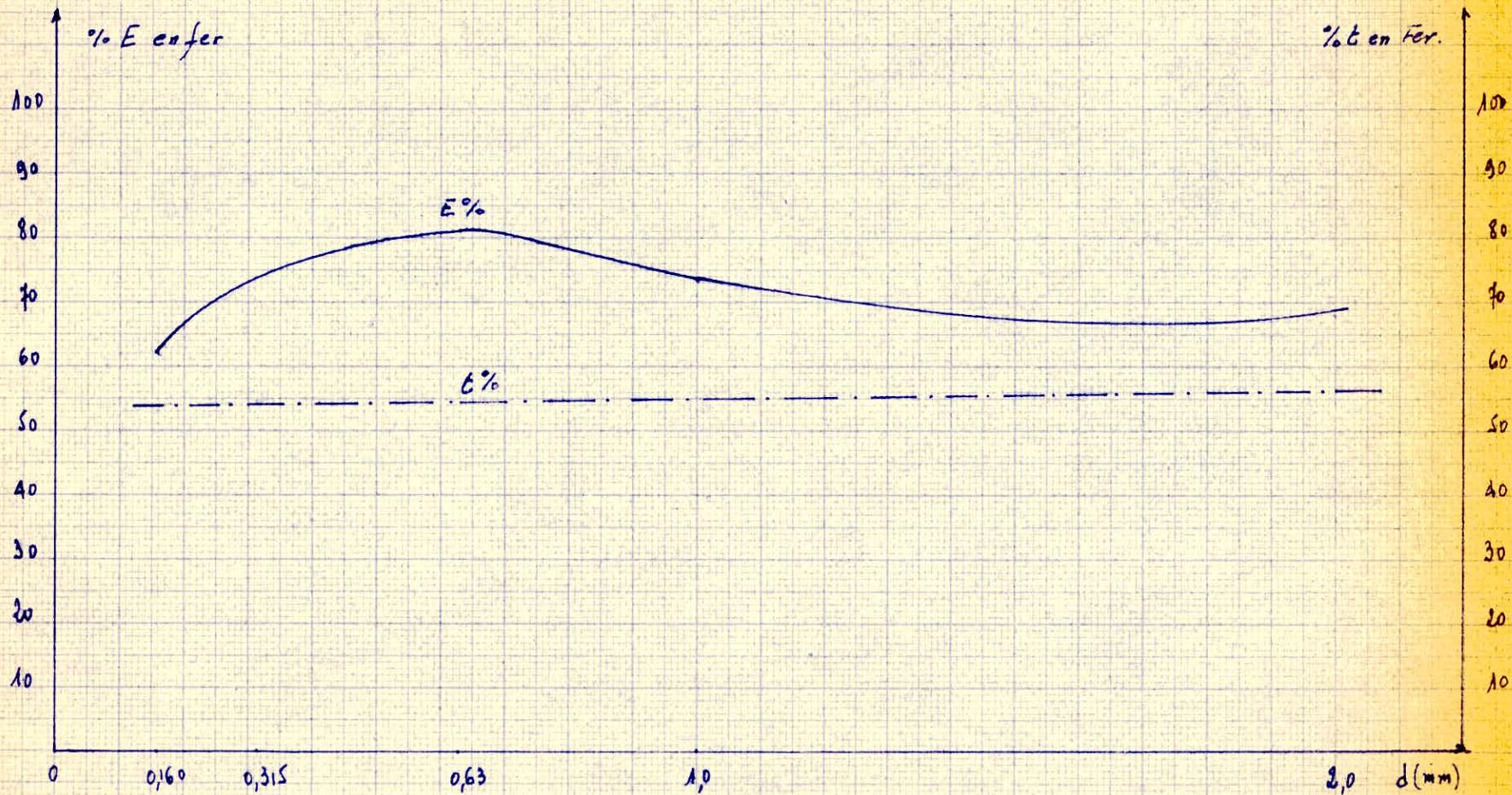
Les mixtes provenant du premier étage sont encore assez riches en fer qui pourrait être récupéré au moyen d'une seconde opération épuiseuse, tout au moins une partie. De la même façon que pour le premier étage, dans le but d'obtenir un réglage optimal de la coupure et de l'intensité du champ il a été constaté qu'une coupure trop haute laissait passer presque entièrement le minerai dans la fraction non magnétique, par contre une coupure trop basse faisait passer le minerai dans la fraction magnétique, ces faits ont été observés pour des intensités supérieures à 3,5 A. Par contre l'essai à 3,5 A et coupure moyenne donnait les résultats suivants : (A la sortie de cet étage seules les analyses chimiques du fer ont été faites, celles de Barytine étant très longues et très délicates).

Classes	F.N.M. (I)			F.M. (II)			F.N.M. (II)		
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	% Rp	% Fer	% E.Fer	% Rp	% Fer	% E.Fer
-2/+1	10,50	46,5	4,05	6,00	56,5	68,2	4,50	34,0	31,8
-1/+0,63	8,45	45,5	4,70	5,15	55,0	73,6	3,30	31,6	26,4
-0,63/+0,315	7,50	43,6	5,60	4,90	54,2	81,0	2,60	24,4	19,0
-0,315/+0,160	6,50	44,5	7,25	3,90	54,6	74,0	2,60	29,2	26,0
-0,160/+0,074	4,85	41,7	8,00	2,30	54,4	62,0	2,55	30,2	38,0

Récupération Moyenne

72% en fer dans la F.M. (II)

Influence de la Granulométrie sur la Séparation à 3,5 A.



Séparation du III^e Etage

La récupération du fer dans le second étage est encore assez faible ce qui justifie une autre opération épuiseuse. Comme pour l'opération précédente l'intensité (3,5 A) a été maintenue, mais la coupure utilisée est plus basse, en ce sens que, une coupure haute ou moyenne pour toutes les intensités supérieures à 3,5 A laissait passer le minerai dans la F.N.M. -

Pour une intensité de 3,5 A et une coupure basse, les analyses chimiques du fer, dans la F.M. et celles du fer et de BaSO₄ dans la fraction non magnétique, donnent les résultats suivants :

Classes	F.N.M. (II)		F.M. (III)			F.N.M. (III)			Récupération	
	% Rp	% Fer	% Rp	% Fer	% E. Fer	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
-2/+1	4,50	34,0	2,90	48,0	98,8	1,60	7,5	26,2	1,2	97,0
-1/+0,63	3,30	31,6	1,90	47,5	98,8	1,40	7,8	28,0	1,2	97,5
-0,63/+0,315	2,60	24,4	1,15	45,2	99,0	1,45	6,2	28,5	1,0	97,5
-0,315/+0,160	2,60	29,2	1,10	55,5	98,3	1,50	10,0	30,9	1,7	97,5
-0,160/+0,074	2,55	30,2	0,95	55,0	95,3	1,60	16,8	23,8	4,7	96,7

Récupérations Moyennes

En fer dans la F.M (III) : 98%

En BaSO₄ dans la F.N.M (III) : 96,7%

Après cette opération épuiseuse les teneurs en fer sont trop faibles pour justifier une autre séparation quelconque.

Récapitulation des Etages II et III

Dans le tableau ci-après ont été consignés les résultats de la séparation magnétique, et ceux de l'analyse chimique, relatives à un mélange des mêmes classes granulométriques provenant des deux fractions magnétiques (II) et (III).

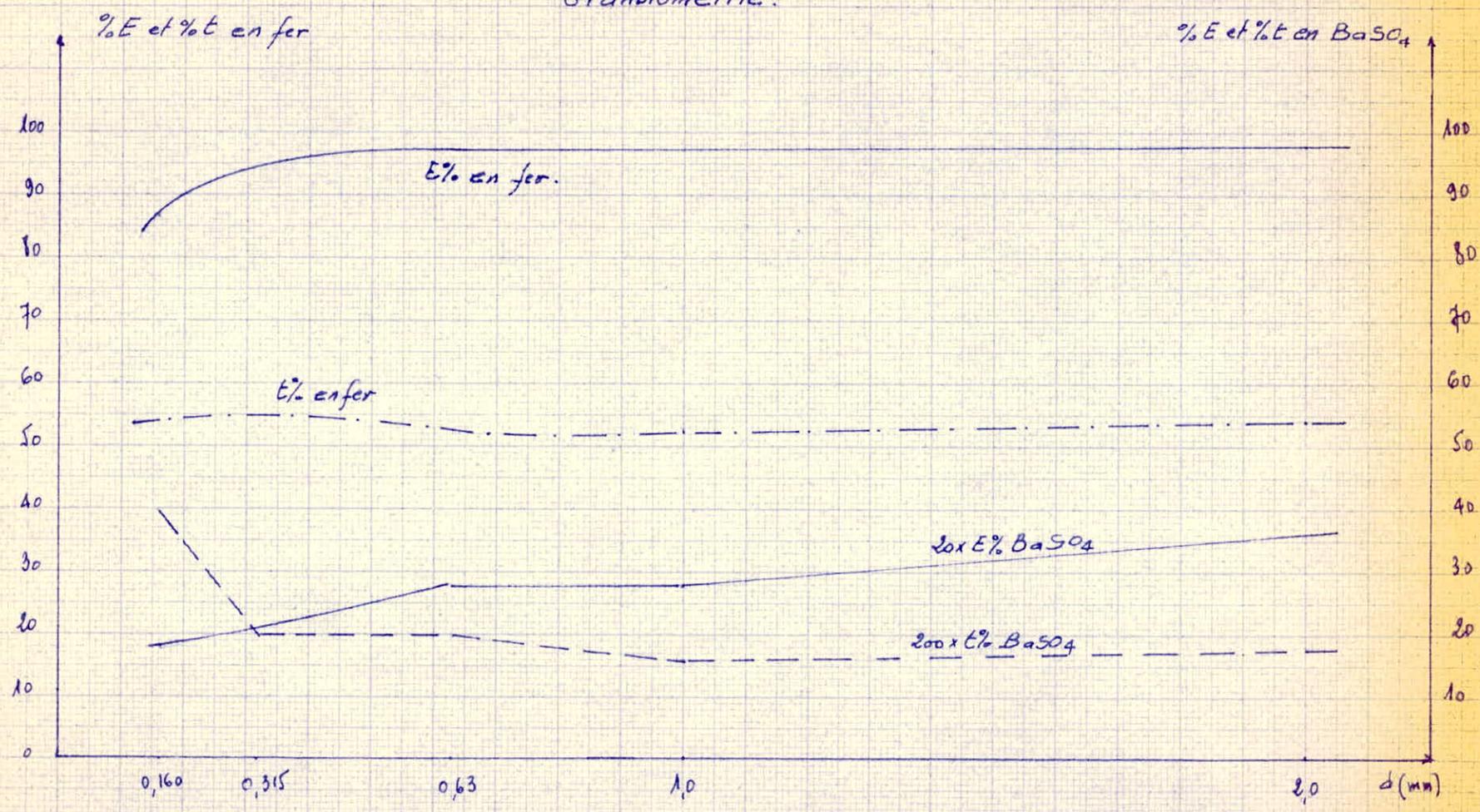
Classes	F.M. (II+III)			Récupération	
	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	Fer	BaSO ₄
-2/+1	8,90	53,8	0,09	98,8	1,8
-1/+0,63	7,05	53,1	0,08	97,5	1,4
-0,63/+0,315	6,05	52,6	0,10	97,5	1,4
-0,315/+0,160	5,00	54,8	0,10	95,0	1,0
-0,160/+0,074	3,25	53,8	0,20	87,0	0,9

Récupérations Moyennes :

Fer : 96%

BaSO₄ : 1,5%

Recupérations et teneurs dans les
 FM (II) et FM (III) en fonction de la
 Granulométrie.



Tableaux Récapitulatifs de la Séparation.

Classes	T.V.			F.M (I+II+III)			Récupération	
	% RP	% Fer	% BaSO 4	% RP	% Fer	% BaSO 4	Fer	BaSO 4
- 2/+1	20,40	54,8	2,12	18,80	58,9	0,07	98,8	3,0
-1/+0,63	18,25	54,8	2,20	16,85	58,7	0,05	98,8	2,5
-0,63/+0,315	17,50	54,5	2,42	16,05	58,8	0,06	99,0	2,5
-0,315/+0,160	15,25	55,3	3,12	13,75	60,3	0,08	98,3	2,5
-0,160/+0,074	11,25	54,3	3,50	9,65	60,3	0,13	95,3	3,3
-0,074	17,35	56,8	2,32					

Classes	ENM (III) = Stériles			Récupération	
	% RP	% Fer	% BaSO 4	Fer	BaSO 4
-2/+1	1,60	7,5	26,2	1,2	97
-1/+0,63	1,40	7,8	28,0	1,2	97,5
-0,63/+0,315	1,45	6,2	28,5	1,0	97,5
-0,315/+0,160	1,50	10,0	30,9	1,7	97,5
-0,160/+0,074	1,60	16,8	23,8	4,7	96,7

Récupérations Moyennes :

(Fer : 98%

Dans la F.M. (I+II+III) : (BaSO 4 : 3,2 %

(Fer : 2 %

Dans la F.N.M. (III) : (BaSO 4 : 96,8 %

Influence de l'Intensité du Champ
sur le Rp et la Récupération.

courbes des Teneurs en fer et en $BaSO_4$.

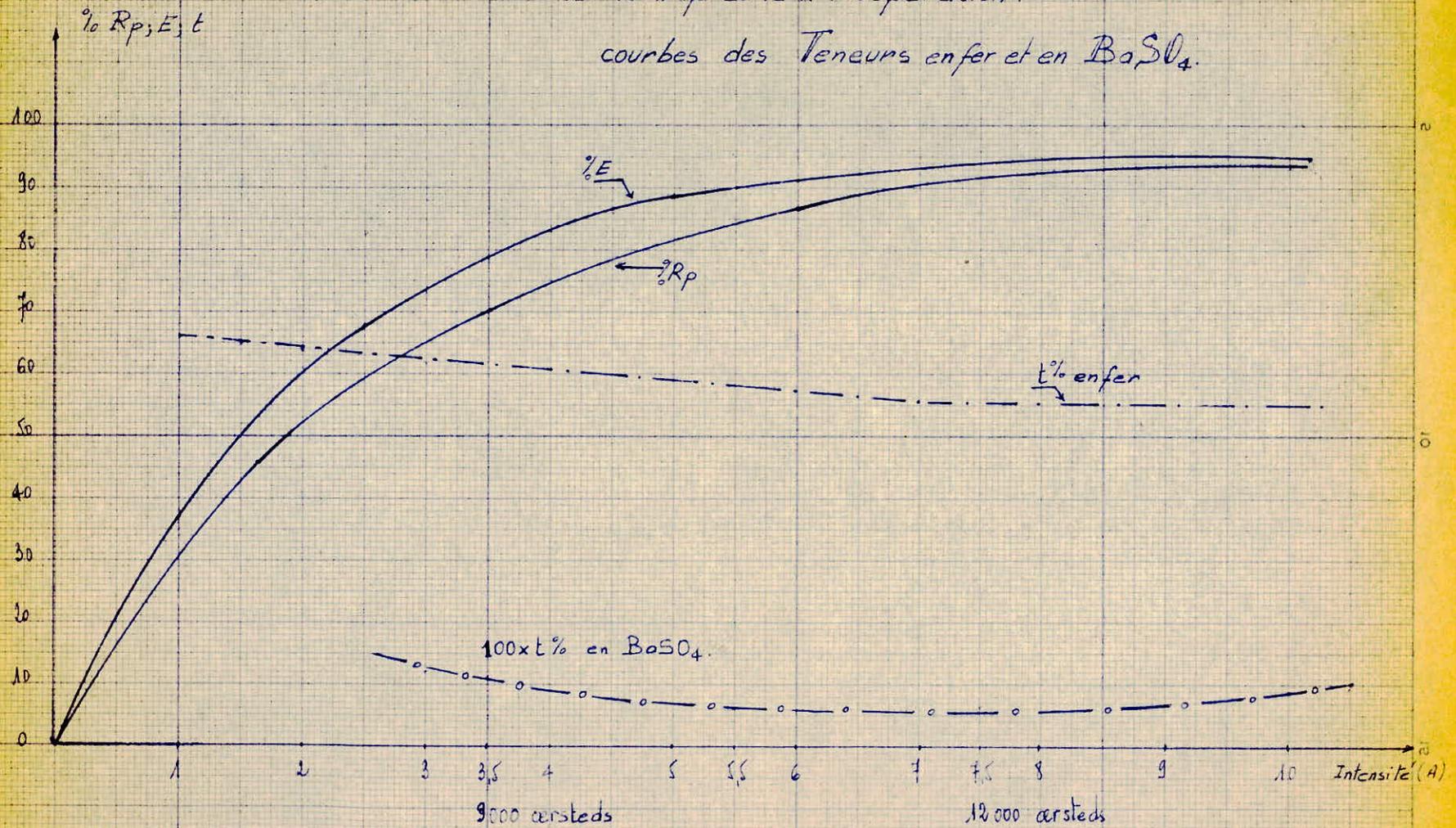
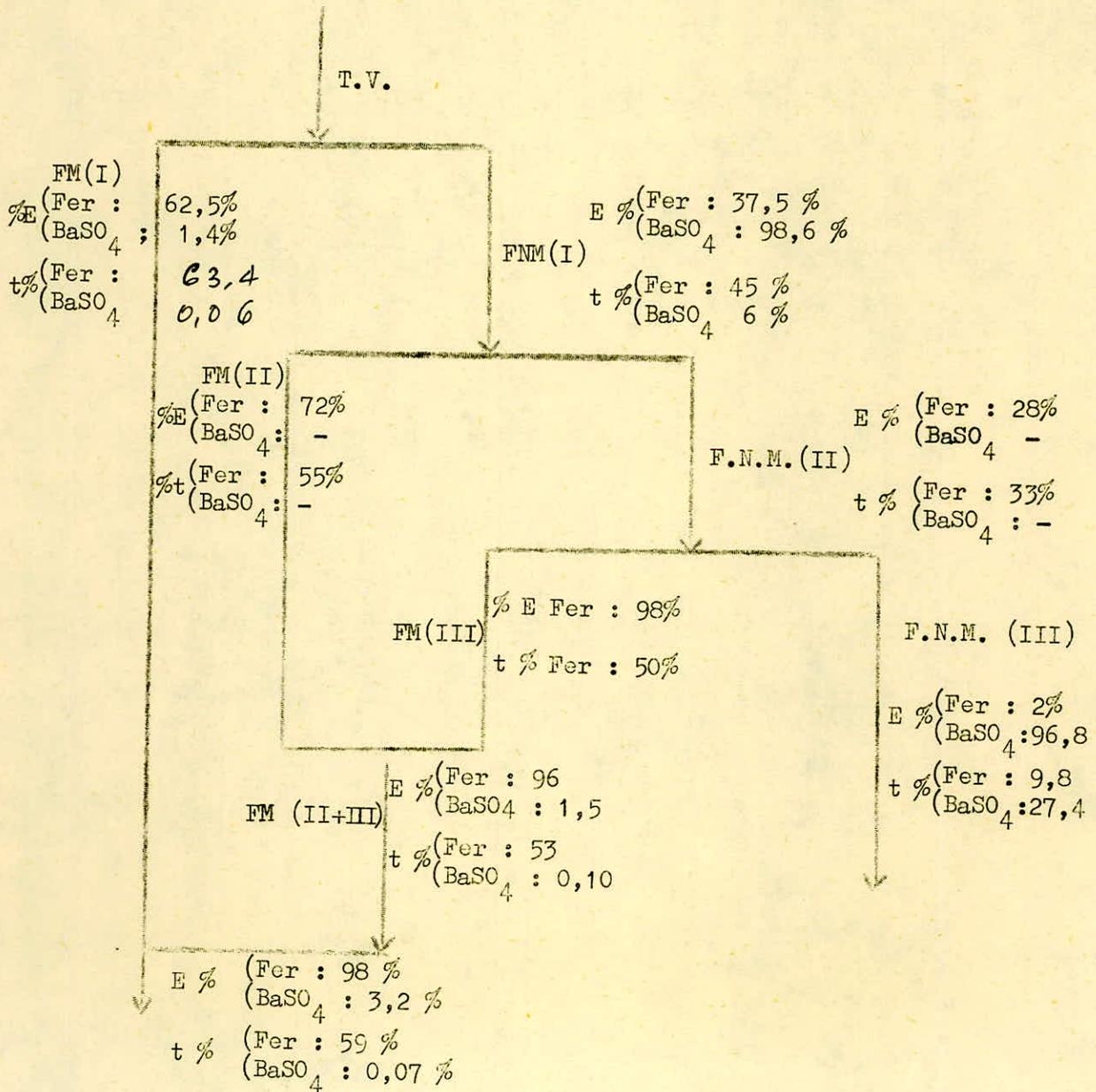


Schéma de la Séparation :

Après la détermination optimale des différents paramètres de la séparation pour chacun des étages, on a été conduit à proposer le schéma de principe suivant adaptable à chacune des classes granulométriques. Sur ce schéma sont représentées les récupérations (% E) et les teneurs (% t) moyennes en Fer et en BaSO₄



Enrichissement des fines :

Comme il a été dit, déjà, plus haut, la classe (- 0,074 mm) a été éliminée de façon à faciliter la séparation magnétique des autres classes granulométriques, or cette classe est assez riche en fer (56,8 %) et sa teneur en BaSO 4 est assez importante (2,32 %).

Le minerai traité suivant trois (3) étapes a les teneurs, en fer et barytine, suivantes :

Fer : 59,0 % BaSO 4 : 0,074 %

La teneur en fer est assez bonne, et celle de BaSO 4 est encore très inférieure à celle exigée par la métallurgie, de ce fait un mélange des fines avec le minerai, préalablement, traité, serait possible et ce dans des proportions, telles qu'on ne dépasse pas la teneur limite exigée, soit : 0,35 % en BaSO 4.

* Un mélange à 100 % de fines donnerait un concentré titrant en BaSO 4 : 0,49 %

* Un mélange dans une proportion de 60 % de fines, donnerait un concentré ayant une teneur de 0,34 % en BaSO 4 .

En conclusion, tous les essais effectués ont fourni les teneurs et les rendements ci-après :

Teneurs et Rendements :

a) Avant mélange des fines :

Produits	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	% E Fer	% E BaSO ₄
FM(I+II+III)	75,10	59,6	0,07	98	3,2
FNM (III)	7,55	9,8	27,4	2	96,8

b) Après mélange des fines :

Produits	% Rp	% Fer	% BaSO ₄	% E Fer	% E BaSO ₄
FM(I+II+III) +60% fines	85,50	59	0,34	98,7	5
F.N.M. (III)	7,55	9,8	27,4	2	96,8

Les différents rendements pondéraux provenant des différents étages sont :

I^e Etage : Rp (1) = 44,85% II^e Etage Rp (2) = 22,25%

III^e Etage : Rp (3) = 8,0% 60% fines : Rp (4) = 10,41%

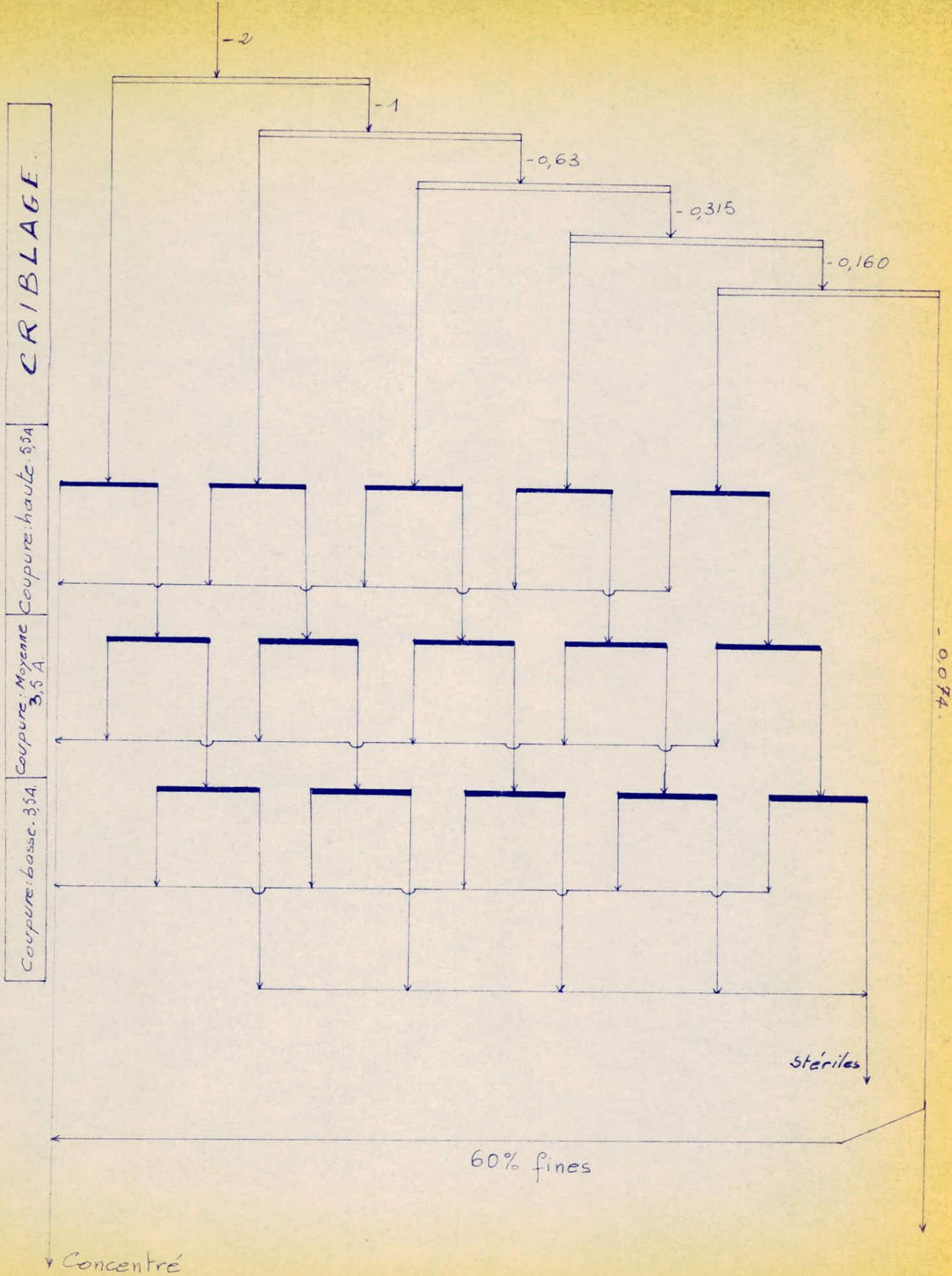
d'où Rp (total) = 85,50%

Le rendement - métal est :

$$P = \frac{85,50 \cdot 59}{55 \cdot 100} = 91,60\%$$

Remarques :

Les 40% de fines qui restent peuvent être facilement absorbés par un minerai de fer non - barytique.



Remarques :

Le calcul montre qu'un mélange de minerai "Marchand" et de minerai "barytique" permettrait d'abaisser les teneurs en $BaSO_4$ dans ce dernier sans pour autant affecter les teneurs en fer du premier minerai.

Le calcul a permis d'établir les proportions du mélange préconisé comme suit :

Teneur en $BaSO_4$ du Barytique	Proportions du Mélange en T.	
	Barytique	Marchand
0,36 ÷ 1	1	3
1,1 ÷ 2	"	6
2,1 ÷ 3	"	8
3,1 ÷ 5	"	14
5,1 ÷ 10	"	30

Ces mélanges seront possibles dans le cas d'une planification de l'exploitation du "Barytique" et du "Marchand" à la fois et l'abandon de la méthode actuelle qui est sélective.

C'est cet écrémage durant des années qui a permis un stockage énorme du "barytique".

6 - Essais de Récupération de BaSO₄
Par Flottation à partir
des Rejets de la Séparation Magnétique

Théorie de la Flottation

Généralités :

L'étude de la flottation a à sa base l'étude des différents interfaces. Le procédé consiste à rendre hydrophobes les surfaces des espèces minérales à séparer les minéraux présentant des surfaces hydrophobes se fixes à l'interface air-liquide, cet interface est représenté soit : par la surface libre d'un liquide, soit par la surface d'une bulle d'air au sein d'une pulpe. Par contre les minéraux présentant des surfaces hydrophiles restent dans la pulpe. Il en résulte ainsi un transport sélectif dû par exemple à l'écoulement d'un film liquide, ou du déversement d'une nappe mousseuse créée par l'agglomération de bulles minéralisées transportant les minéraux qu'elles retenaient fixés .

La flottabilité d'un minéral dépend de plusieurs facteurs :

- Angle de Contact :

Cet angle détermine si un minéral est apte ou non à flotter .

- Les réactifs :

Ils sont très nombreux et leur utilisation est régie par certains paramètres tels : mode de fixation, lieu de concentration dans la pulpe, mode d'action et de fixation sur la particule minérale.

* Les collecteurs :

Les collecteurs Anioniques

Ce sont des composés chimiques à chaîne carbonée, généralement plus un minéral est difficile à faire flotter et plus la chaîne carbonée doit être longue.

Les collecteurs Cationiques :

Dans ce groupe nous avons, les Amines et les sels quaternaires ammoniacaux. Ils sont utilisés pour la flottation des oxydes des silicates et des alumino-silicates.

* Les Moussants :

Ce sont des agents dont l'action se manifeste à la surface de séparation eau - air. Leur utilisation est nécessaire quelque soit le minéral à faire flotter. Le plus utilisé de ces réactifs est "l'huile de pin".

* Les Déprimants :

Ils empêchent la flottation de la gangue lorsque celle-ci possède les mêmes propriétés de flottabilité que le minéral utile. Ils sont utilisés aussi dans le cas d'une flottation sélective d'un minéral polymétallique. Les plus utilisés de ces réactifs sont :

Le verre - liquide ; $\text{Na}_2 \text{S}$ et $\text{Na}_2 \text{CO}_3$

* Les Activants :

Ils permettent de redonner les propriétés de flottabilité à un minéral préalablement déprimé, de même qu'ils renforcent ces propriétés chez certains minéraux qui ne sont soumis à aucune dépression. Les plus utilisés de ces réactifs sont : $\text{Na}_2 \text{S}$, CuSO_4 , FeSO_4 , H_2SO_4

* Les Régulateurs :

Ils ont la propriété de créer des conditions physico-chimiques permettant d'optimiser les réactifs de flottation. L'Hydrolyse de ces corps permet de contrôler par la libération de H^+ ou de OH^- , le pH de la pulpe.

Remarques :

Dans certains cas, et certains réactifs, jouent un double rôle dans la flottation, de même qu'il existe certains minéraux qui possèdent les mêmes propriétés de flottation, et par là possèdent les mêmes réactifs de flottation, ainsi dans le cas d'un minerai contenant $BaSO_4$ et SiO_2 , les deux minéraux flottent au moyen des mêmes réactifs et il n'est possible de les séparer qu'après une flottation sélective durant le relavage.

Certains réactifs sont très puissants et leur utilisation sans un contrôle des quantités bien rigoureux, ils deviennent nuisibles, c'est le cas de l'acide oléique utilisé comme collecteur, c'est aussi le cas du verre liquide utilisé comme déprimant.

La Barytine et son Utilisation

La Barytine est un minéral qui se trouve en abondance à l'état naturel. Du point de vue minéralogique, c'est un sulfate de Baryum ($BaSO_4$) correspondant à la composition chimique : $BaO = 65,7\%$; $SO_3 = 34,3\%$. Elle est isomorphe avec plusieurs autres minéraux. Ce minéral consens des emplois très divers, et son usage diffère d'un lieu à un autre. En général, dans les principaux pays producteurs, on peut diviser comme suit, les secteurs d'emplois de $BaSO_4$:

-Recherche d'hydrocarbures :	70%
-Transformations chimiques :	20%
-Colorants :	5%
-Verreries :	3%
-Divers :	2%

Dans la recherche d'hydrocarbures, la barytine finement broyée est employée pour alourdir les boues de forage ; plus le poids spécifique est élevé et plus le produit augmente de valeur marchande. De ce fait, il est bon de remarquer que la présence des oxydes de fer dans la barytine de forage, même en quantités élevées (jusqu'à 10%) ne présentent pas d'inconvénients majeurs ; mais bien au contraire, sont favorablement accueillis car ils augmentent le poids des boues de forage d'une manière appréciable.

Notre étude de la flottation de $Ba SO_4$ n'a pas été complète, du fait que nous étions limités par les moyens techniques et surtout par le temps assez long que prennent les analyses chimiques. Néanmoins nous avons pu faire quelques essais de flottation pouvant être utilisés pour la récupération de la barytine de forage ; aussi ces mêmes essais pourront être indicatifs pour une étude ultérieure de la récupération de $Ba SO_4$ en association avec les minéraux de fer de Bou-Khadra .

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la récupération de $Ba SO_4$, dans les stériles provenant de la séparation magnétique, n'est pas totale : (Elimination des fines + restes dans les concentrés de fer)

D'après les résultats obtenus à partir de la séparation magnétique nous essayerons de donner un aperçu sur la récupération de $Ba SO_4$ par flottation.

Les stériles provenant de la séparation magnétique (7% de la production) contiennent outre $Ba SO_4$ (27,4%), de l'Hématite (9,8%) du quartz et autres éléments inutiles.

Influence du Temps de Broyage sur la Granulométrie

Pour faire une flottation correcte il est nécessaire d'avoir une granulométrie optimale, c'est à dire avoir des particules minérales capables d'absorber les réactifs de flottation et par là avoir la faciliter de s'accoler plus facilement aux bulles de mousse formées dans la pulpe. Durant les essais de broyage, nous avons constaté que les moins concassables sont ceux de quartz en général.

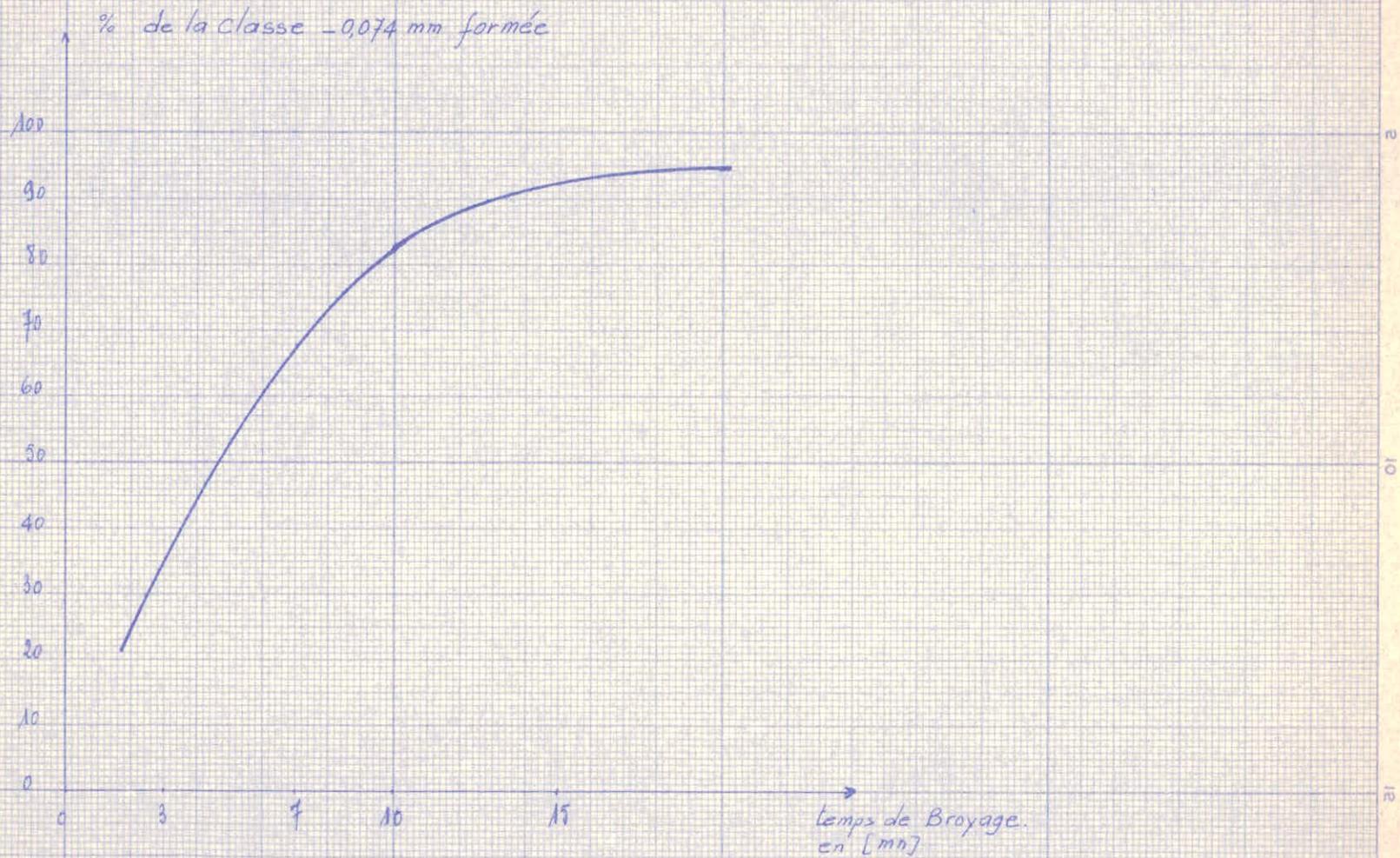
Durant ces essais de Broyage nous nous sommes surtout intéressés à la classe -0,074 mm formée. (La plupart des sociétés intéressées par ce produit, l'exigent à une granulométrie, à 99% inférieure à 200 meshs.)

Les différents essais de broyage ont donné les résultats suivant :

Temps de Broyage (mn)	% de la classe -0,074mm formée
3'	35
7'	67
10'	83
15'	92

- Tous les essais de broyage ont été faits à 50% de liquide

Broyabilité des Stériles



Essais de Flottation :

Pour ces premiers essais de flottation, les quantités de réactifs ont été fixés d'une façon arbitraire. Dans ce premier stade il a été surtout intéressant de noter les récupérations collectives de BaSO_4 et des silicates à cet effet les réactifs utilisés sont les suivants :

- * Collecteur : Acide Oleïque
- * Régulateur : Carbonate de Soude
- * Moussant : Huile de Pin
- * Activant de la Barytine : Pyrophosphate de Soude
- * Déprimant des oxydes de fer : un sel métallique

Les premiers paramètres à fixer sont, la quantité optimale des particules $-0,074$ mm dans la pulpe, qui est liée au temps de broyage, et le temps de flottation nécessaire, qui est lié aux propriétés d'absorption des réactifs par les particules présentes dans la pulpe. Il n'était pas possible d'étudier l'influence, du fait qu'il en existe une infinité de combinaisons, que l'on a pu faire, le nombre d'échantillons étant limité ainsi que les conditions opératoires.

Les essais précédents ont permis d'obtenir les résultats suivants :

- a) Récupération-poids en fonction du % de la classe $0,074$ mm formée.
- b) Récupération-poids en fonction du temps de flottation.

a) Récupération-poids en fonction du % de la classe -0,074 mm formée (teneur du T.V. en BaSO_4 : 27,4%)

% de la classe -0,074 mm formée	% Rp	% BaSO_4	E % BaSO_4
35	18	37,3	24,6
67	37	32,2	43,7
83	47	30,4	52,1
92	53	29,2	56,5

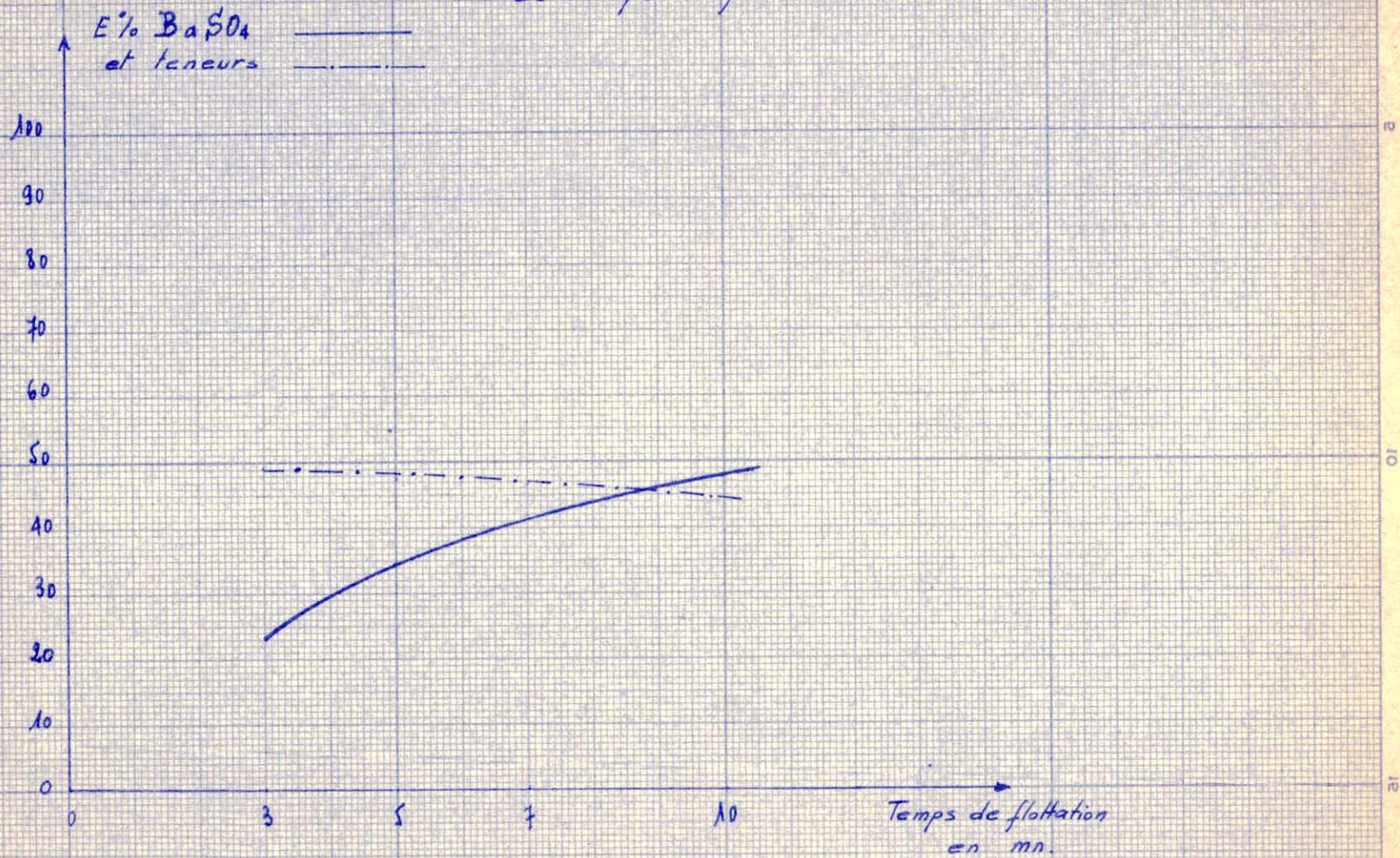
b) Récupération-poids en fonction du temps de flottation

-(teneur du T.V. en BaSO_4 : 27,4 %)

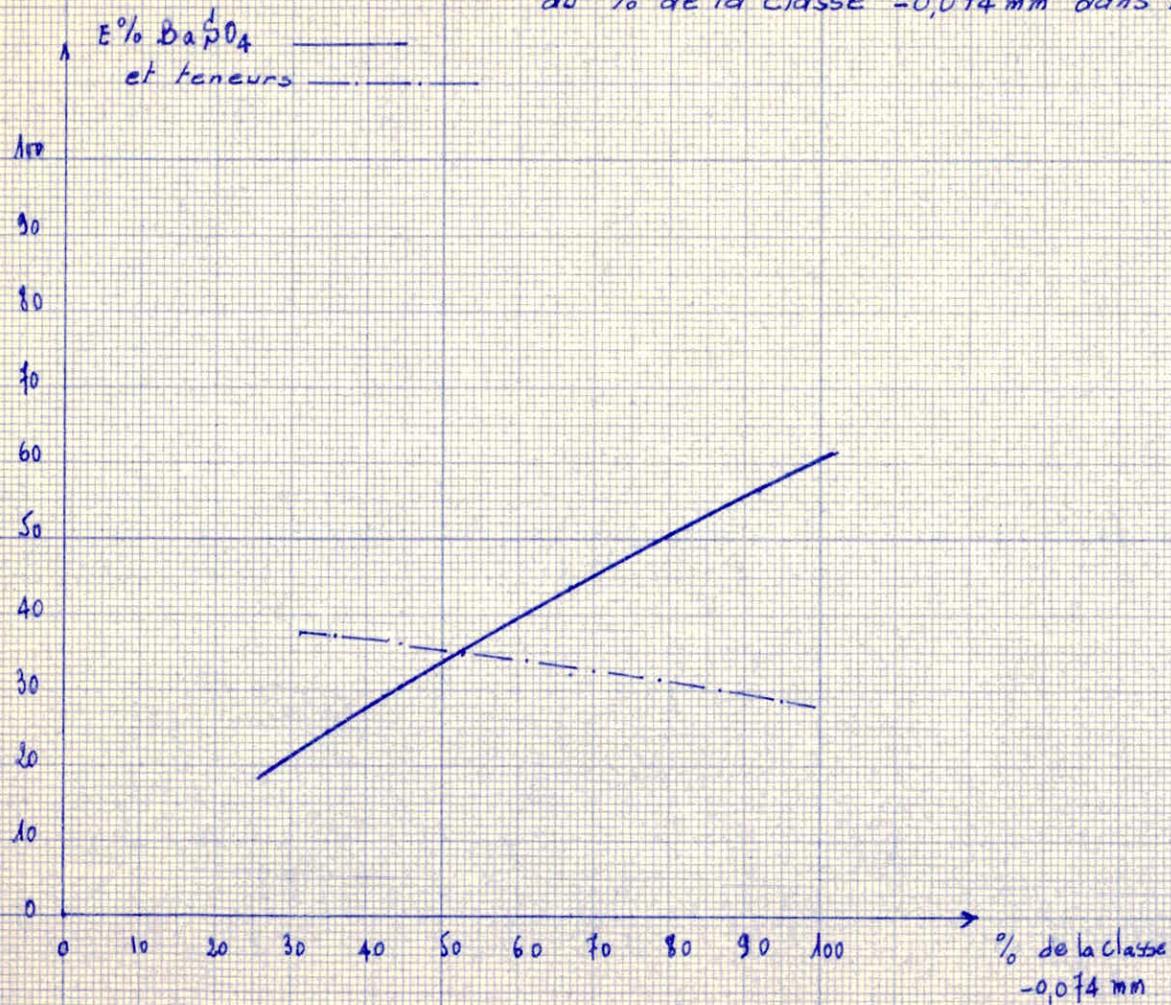
Temps de Flottation	% Rp	% BaSO_4	E % BaSO_4
3'	16	39,3	22,9
5'	25	37,6	34,3
7'	32	36,5	41,5
10'	38	34,6	48,0

De ces différentes opérations de flottation, on peut retenir comme temps de flottation 10 mm. Au-delà de ce temps on remarque que tous les autres minéraux commencent à flotter.

Récupération de BaSO_4 en fonction
du Temps de flottation.



Récupération de $BaSO_4$ en fonction
du % de la classe $-0,074\text{ mm}$ dans la pulpe.



Influence des Réactifs sur la Flottation

Les essais précédents ont été faits au moyens de paramètres supposés optimums, qui sont les suivants :

- * Collecteur Acide oleique : 250 g/t
- * Régulateur : Carbonate de Soude : 800 g/t pH = 10 ÷ 11
- * Moussant : Huile de pin 40 g/t
- * Activant : Pyrophosphate de Soude : 250 g/t
- * Déprimant (des oxydes de fer) : Nitrate de calcium : 500 g/t
- * Consistance de la pulpe : 70% liquide
- * Conditionnement : 7 mn
- * Temps de flottation : 10 mn

Seule l'opération ébaucheuse a été faite, mais il est probable que la variation de l'un des paramètres (activant et collecteur) permettrait une augmentation de la récupération de $BaSO_4$ d'une façon notable, celle-ci serait sans doute améliorée en procédant à des opérations épulseuses et relaveuses.

Le collecteur est très puissant une augmentation de celui-ci ferait flotter tout le minerai, une augmentation de l'activant augmente l'effet du collecteur et on aurait la flottation du quartz avec la barytine. Donc il serait possible dans une opération ébaucheuse de faire flotter le quartz et la barytine et ensuite déprimer celui-ci au relavage au moyen du verre liquide.

Essais de Flottation après déschlammage

Même après un criblage assez poussé, dans le but de supprimer les fines, dans les stériles, on s'est aperçu malgré cela que des particules très fines d'Hématite restaient accolées aux grains de barytine, de quartz et autres, par des forces intergranulaires, d'où il était nécessaire de procéder à un lavage, des stériles provenant de la séparation magnétique, sur un crible de 0,04 mm.

Cette opération a permis d'éliminer une grande partie des oxydes de fer qui gênaient énormément le processus technologique de la flottation.

L'opération de flottation après déschlammage a permis d'obtenir les résultats suivants :

Produits	% Rp	% BaSO ₄	% Fer	E% BaSO ₄
Min. non lavé	36	36,4	6,4	47,8
Minerai lavé	31	37,6	2,3	42,5

Conclusion sur les essais de Flottation

Les essais de flottation ont été faits pour deux raisons : récupérer la barytine, d'un côté ; de l'autre si la récupération de celle-ci s'avérait concluante essayer d'amortir les frais occasionnés par l'enrichissement du minerai de fer (la fragmentation étant très coûteuse).

On a essayé d'obtenir le maximum de renseignements afin d'établir un schéma de traitement de la barytine, mais le nombre restreint d'échantillons n'a pas permis un nombre élevé d'essais susceptibles d'aboutir à des résultats concluants (voir les résultats précédents) Ces résultats ne peuvent être retenus tels qu'ils sont, ils ne sont seulement que le produit d'une flottation ébaucheuse, dans tous les cas, de plus vu la teneur en fer des produits ceux-ci ne peuvent être utilisés que pour les forages, et même dans ce domaine ils seront facilement concurrencés par les produits provenant des gisements existants et en cours d'exploitation dont la teneur est nettement plus élevée.

De ce fait, il a été jugé utile de ne pas tenir compte du schéma de récupération de $BaSO_4$, dans la partie relative aux calculs économiques.

7 - Calcul du Schéma d'enrichissement.

Calcul de l'usine de Traitement

Tous les essais effectués au laboratoire concernaient un échantillon représentatif de tout le minerai barytique de Bou-Khadra. Actuellement l'exploitation est de 150 000 t/an, mais celle-ci augmentera dans un proche avenir comme cela est prévu par le plan d'exploitation. C'est pour cela qu'il serait possible de prévoir deux installations de fragmentation possibles ; l'un dans l'état actuel de l'exploitation, l'autre dans le cas d'une extension possible de l'exploitation

1) Dans le cas actuel :

$Q = 500$ t/j est le débit de l'usine pour un fonctionnement de 14 h/j soit $Q_h = 41$ t/h

Rapports de Réduction :

Capacité de l'usine en t/j	500	2500	10 000	40 000
Grosseurs d'Aliment. du Broyeur	10 ÷ 15	6 ÷ 12	5 ÷ 10	4 ÷ 6

Compte tenu de la tendresse du minerai et en se basant sur les données du tableau précédent on prendra pour grosseur d'Alimentation du Broyeur 10 mm.

L'Alimentation des appareils est assurée par le ciel ouvert fournissant des blocs : $D(\max) = 1200$ mm. d'où $S = \frac{1200}{10} = 120$

1er étage : $S_1 = 4,8$; $D(\max) = 1200$; $D_1(\max) = 250$ mm

2° Etage : $S_2 = 3,38$ $D_2(\text{max}) = 74 \text{ mm}$

3° Etage : $S_3 = 7,4$ $D_3(\text{max}) = 10 \text{ mm}$

* Calcul des débits :

$$Q_1 \equiv Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 41 \text{ t/h}$$

$$Q_6 = 33 \text{ t/h}$$

$$Q_7 = 33 + 41 = 74 \text{ t/h}$$

* Choix des concasseurs :

1er Etage : Caractéristiques techniques du
concasseur à mâchoires choisi

Ouverture d'Aliment. mm	Sortie en mm	Débit en t/h	Puissance en KW	Vitesse de Rotation	Poids en t
1200X1500	250	250	150	150	120

Il faut un seul appareil ($Q_1 = 41 \text{ t/h}$) dont le coefficient d'utilisation ne sera rempli qu'à : 20% à peu près. On ne peut utiliser un autre appareil de débit inférieur, du fait que la dimension des blocs à l'alimentation est imposée (1200 mm). De même l'utilisation d'un crible diminuerait le coefficient d'utilisation. Aussi cet appareil serait utilisé encore si une extension de l'exploitation sera faite, comme il a été prévu.

2° Etage : Caractéristiques techniques du concasseur à cône normal choisi.

- * Ouverture d'Alimentation : 300 mm
- * Débit : 65 t/h
- * Ouverture de décharge : 50 mm
- * Puissance : 35 KW
- * Encombrement : 2100 X 1440

Pour cet étage comme le précédent il faut un seul appareil dont le coefficient d'utilisation sera rempli à : 63%

3° Etage : Caractéristiques techniques du concasseur à cône court choisi :

- * Ouverture d'Alimentation : 82 mm
- * Débit : 68 t/h
- * Ouverture de décharge : 10 mm
- * Puissance : 75 KW

De même pour cet étage il faut un seul concasseur ; dont le coefficient d'utilisation sera : 60 %

* Calcul du schéma de Broyage :

La présence des fines étant très nuisible pour le processus de séparation magnétique à sec, en ce sens il a été jugé préférable d'utiliser des concasseurs à cylindres au lieu de broyeurs.

angle de prise des cylindres :

$$n = 11 \%$$

Diamètres des cylindres :

$$\cos \frac{11}{2} = \frac{R + S}{R + d}$$

S = écartement des cylindres

d = grosseur des grains à l'alimentation et R = rayon d'un cylindre

$$\cos \frac{11}{2} = \frac{R + 2,5}{R + 10}$$

Relation qui donne : R = 740 mm soit le Diamètre = D = 1500 mm

* Débit du concasseur :

$$Q = II.D.N.60.L.S.$$

D = Diamètre des cylindres = 1500 mm

N = vitesse de rotation = 40 t/mn

L = longueur des cylindres = 1200 mm

S = écartement des cylindres : 2,5 mm

$$Q = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 40 \cdot 60 \cdot 0,0025 \cdot 34 \text{ t/h}$$

La classe -2mm produite par le concasseur à mâchoire de Bou-Khadra représente 24% de débit total.

Les concasseurs des 2° et 3° Etages, eux produisent 13% du tonnage étant donné que ces derniers sont alimentés par des quantités

aussi importantes que celles traversant le 1^{er} étage, à l'exception que les blocs les traversant sont de plus en plus durs d'où le débit alimentant le concasseur à cylindres.

$$Q = 41.63 \% = 25,83 \text{ t/h.}$$

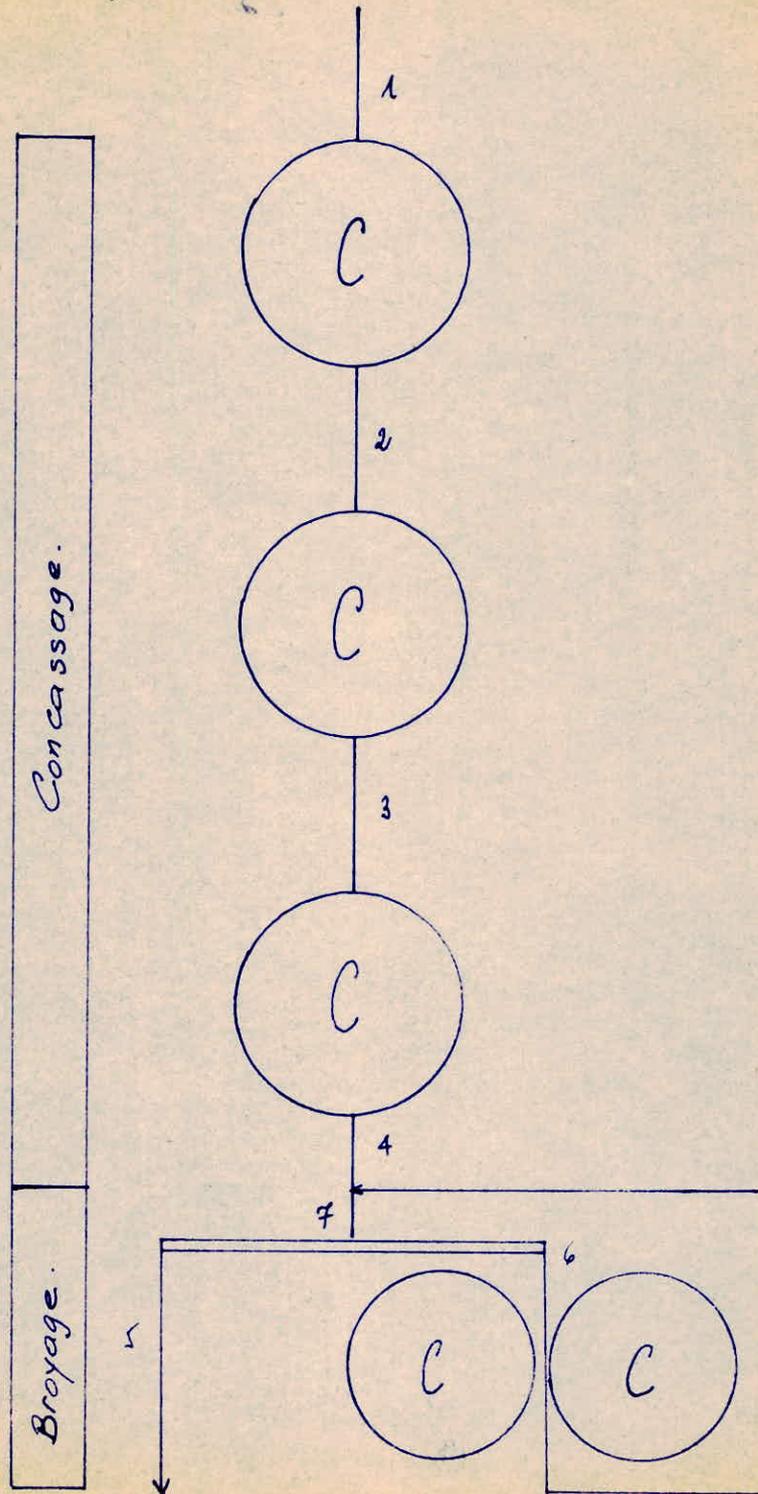
En supposant que les cylindres du concasseur cedent à environ 18 % des grains de dimensions supérieures aux dimensions requises :

$$\text{d'où la charge circulante : } Q_c = 25,83 \cdot 18 \% = 4,64 \text{ t/h.}$$

$$\text{et le débit total : } Q_t = 25,83 + 4,64 = 30,47 \text{ t/h.}$$

D'après les calculs précédents, on peut prévoir un schéma de la forme suivante:

Schéma de préparation Mécanique sans extension de l'exploitation.



2) Calcul dans le cas d'une extension possible de la mine

Dans ce cas-là le schéma de préparation mécanique sera légèrement modifié; en ce sens qu'il faudrait installer des cribles aux 2^e et 3^e étages pour décharger les concasseurs. Et dans ce cas nous aurons les débits suivants ; quoique les appareils à utiliser seront les mêmes dans le cas précédent :

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_3 = Q_2 \cdot B_2^{75-0} E_{II}$$

avec E_{II} efficacité du crible du 2^e Etage

et B_2^{75-0} caractéristique granulométrique du minerai
à la sortie du concasseur du 1er étage

$$Q_4 = Q_2 - Q_3 = Q_5$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_3$$

$$Q_7 = Q_6 B_6^{10-0} E_{III}$$

avec E_{III} = efficacité du crible du 3^e Etage

et B_6^{10-0} = caractéristique granulométrique à la sortie du concasseur du 2^e Etage

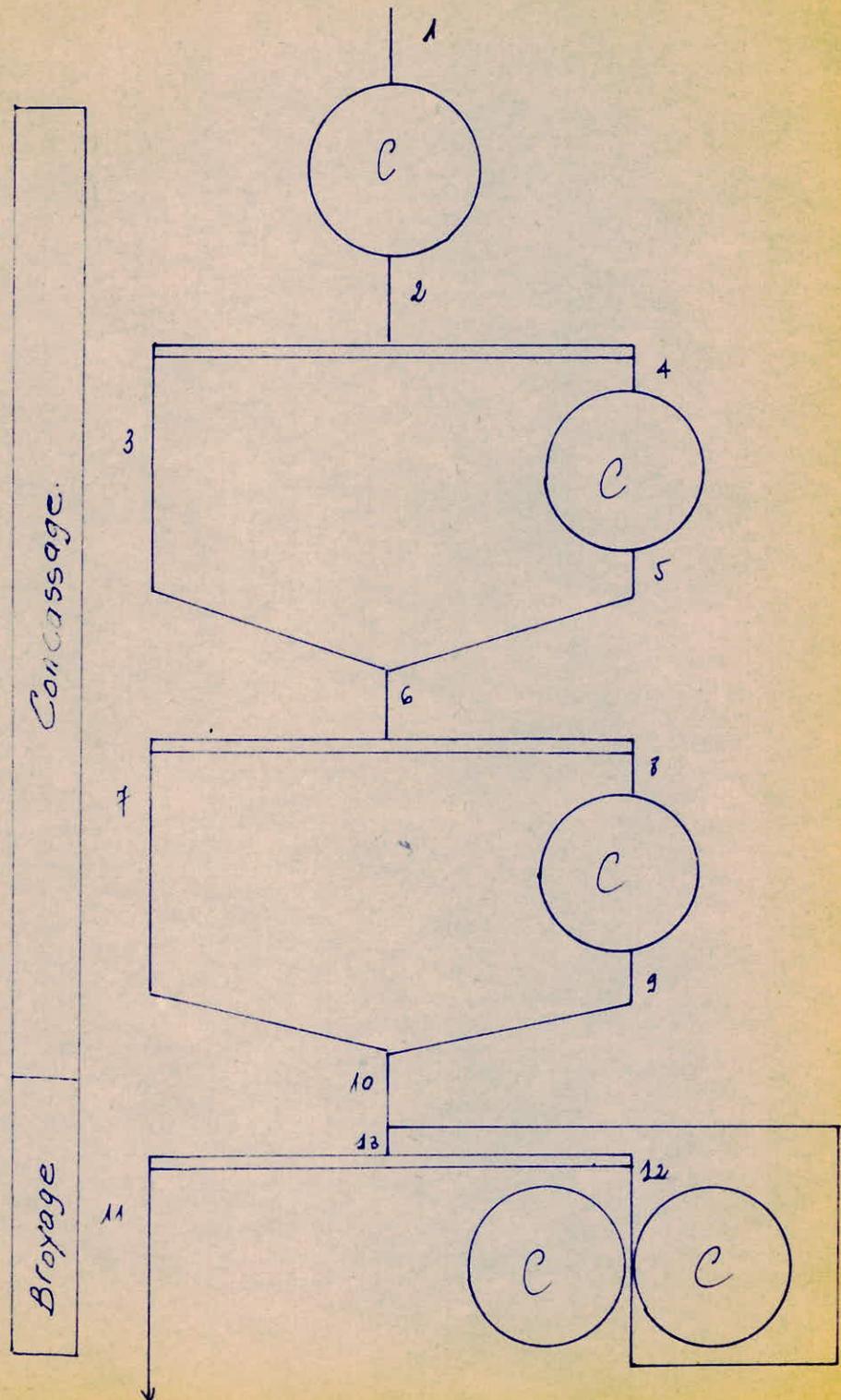
$$Q_8 = Q_6 - Q_7 = Q_9$$

$$Q_{10} = Q_7 + Q_9$$

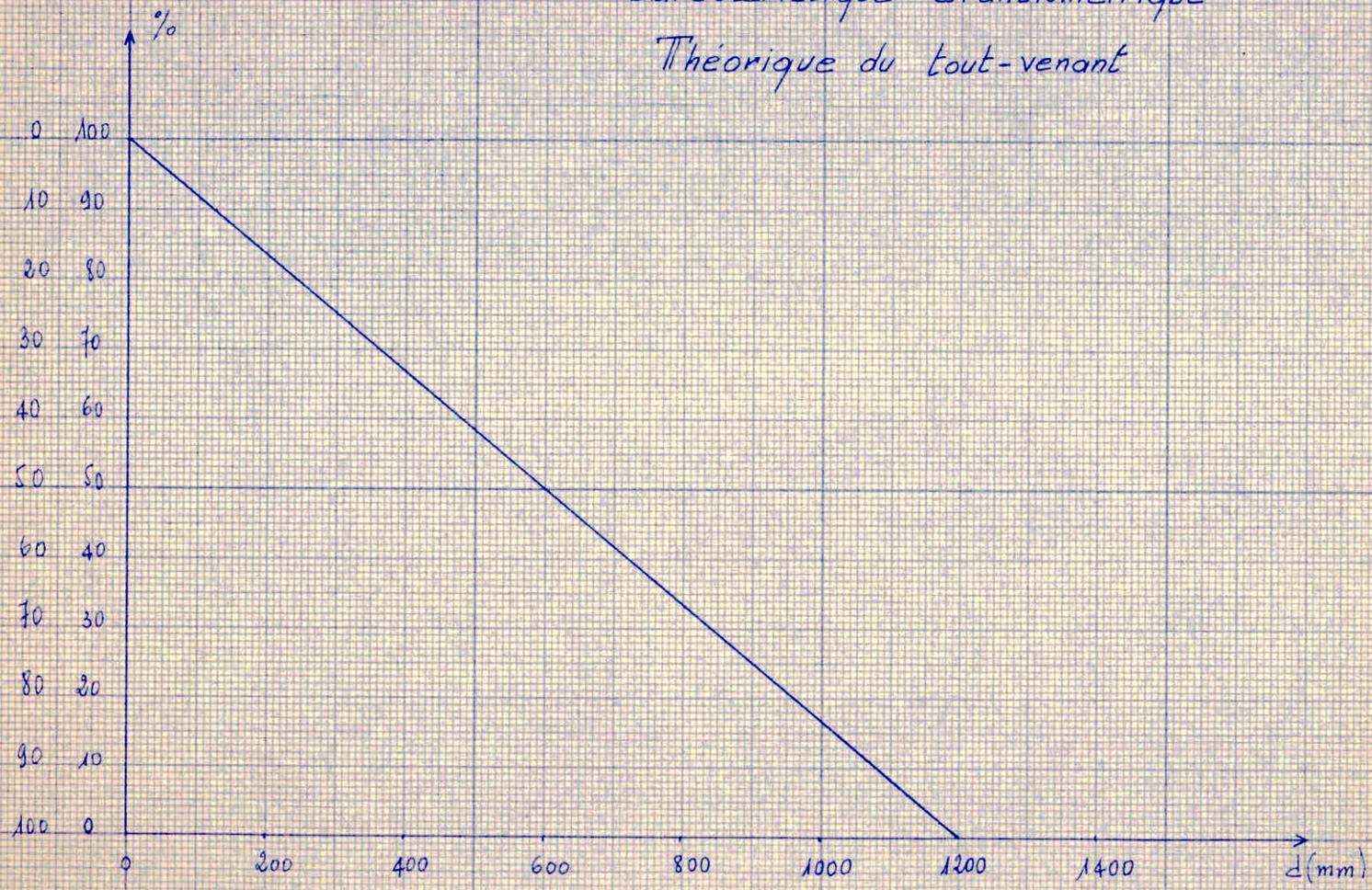
Pour l'étage du concasseur fin il sera identique dans le cas d'une exploitation sans extension

D'après ces calculs nous aurons le schéma suivant :

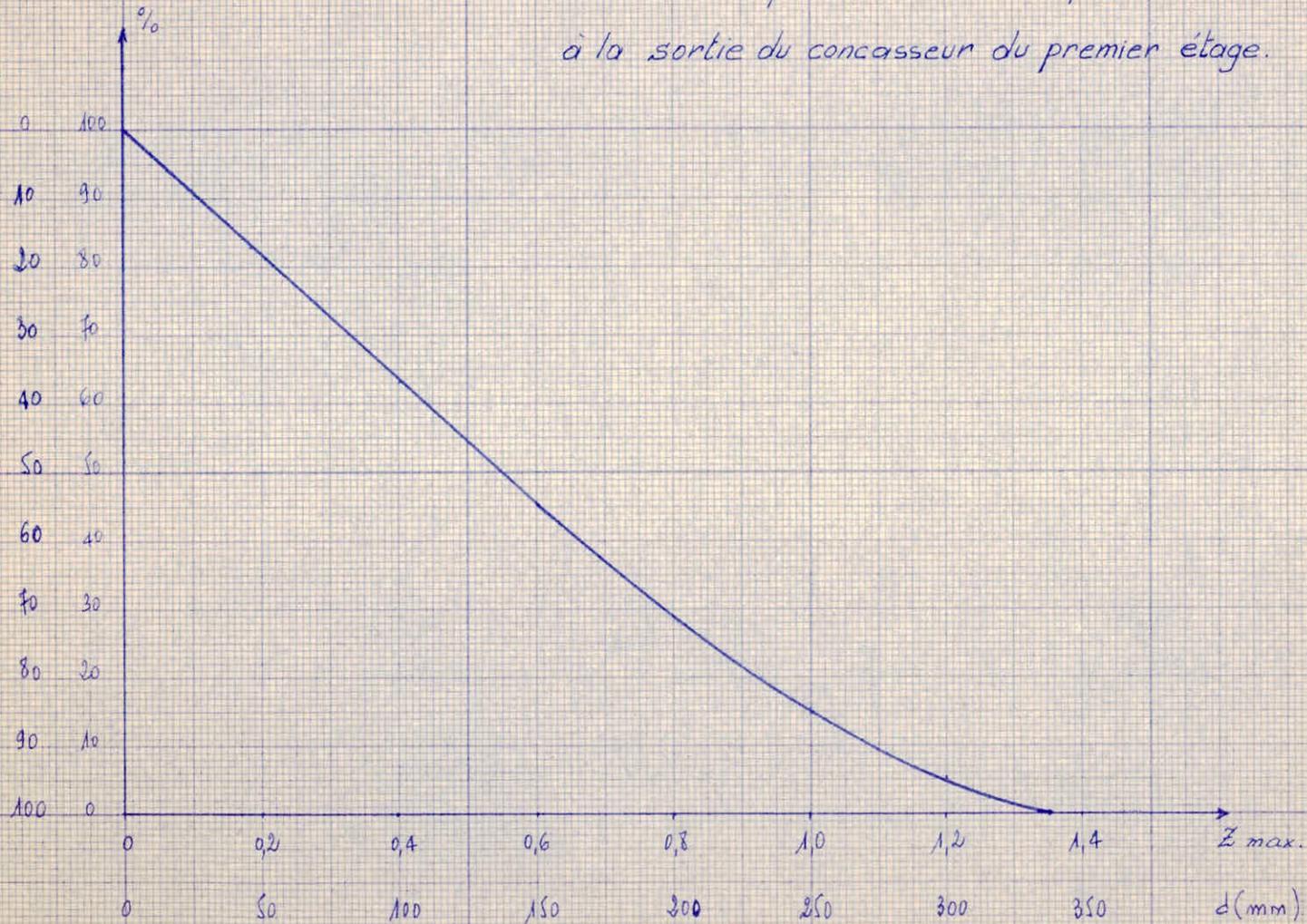
Schéma de Préparation Mécanique dans le cas d'une extension possible de l'Exploitation.



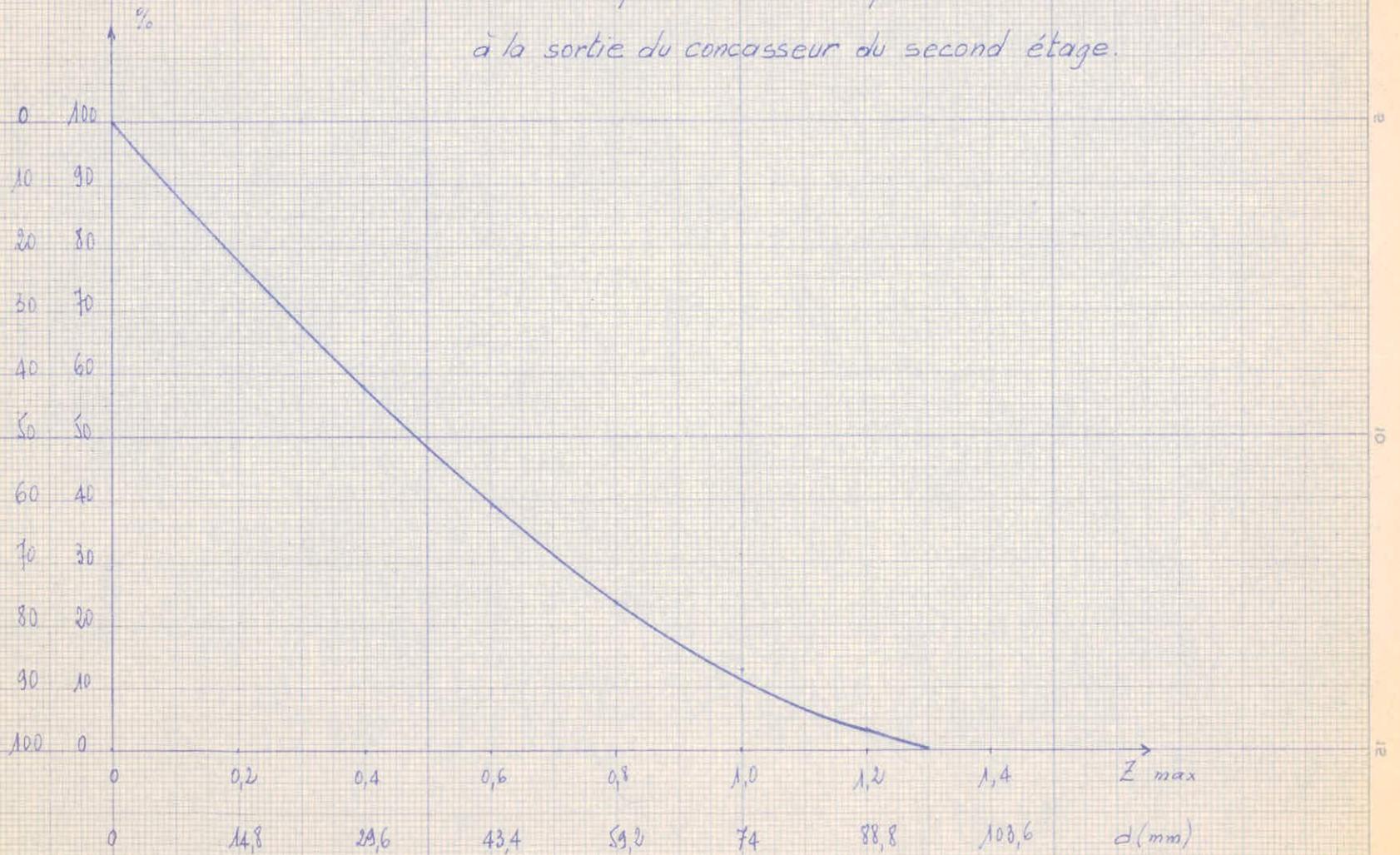
β_1
Caractéristique Granulométrique
Théorique du tout-venant



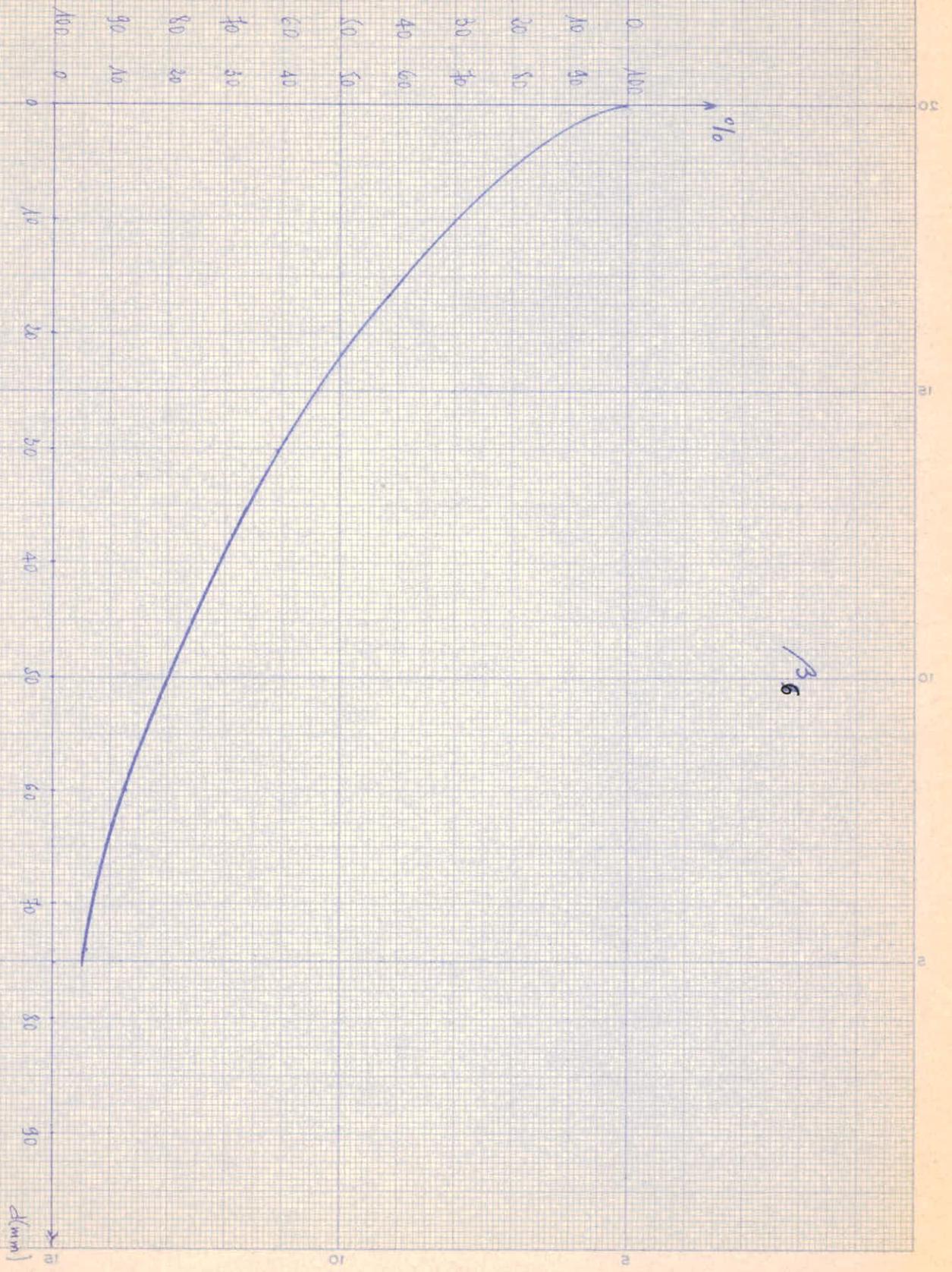
β_3
Caractéristique Granulométrique du Minerai
à la sortie du concasseur du premier étage.



β_5
 Caractéristique Granulométrique du Minerai
 à la sortie du concasseur du second étage.

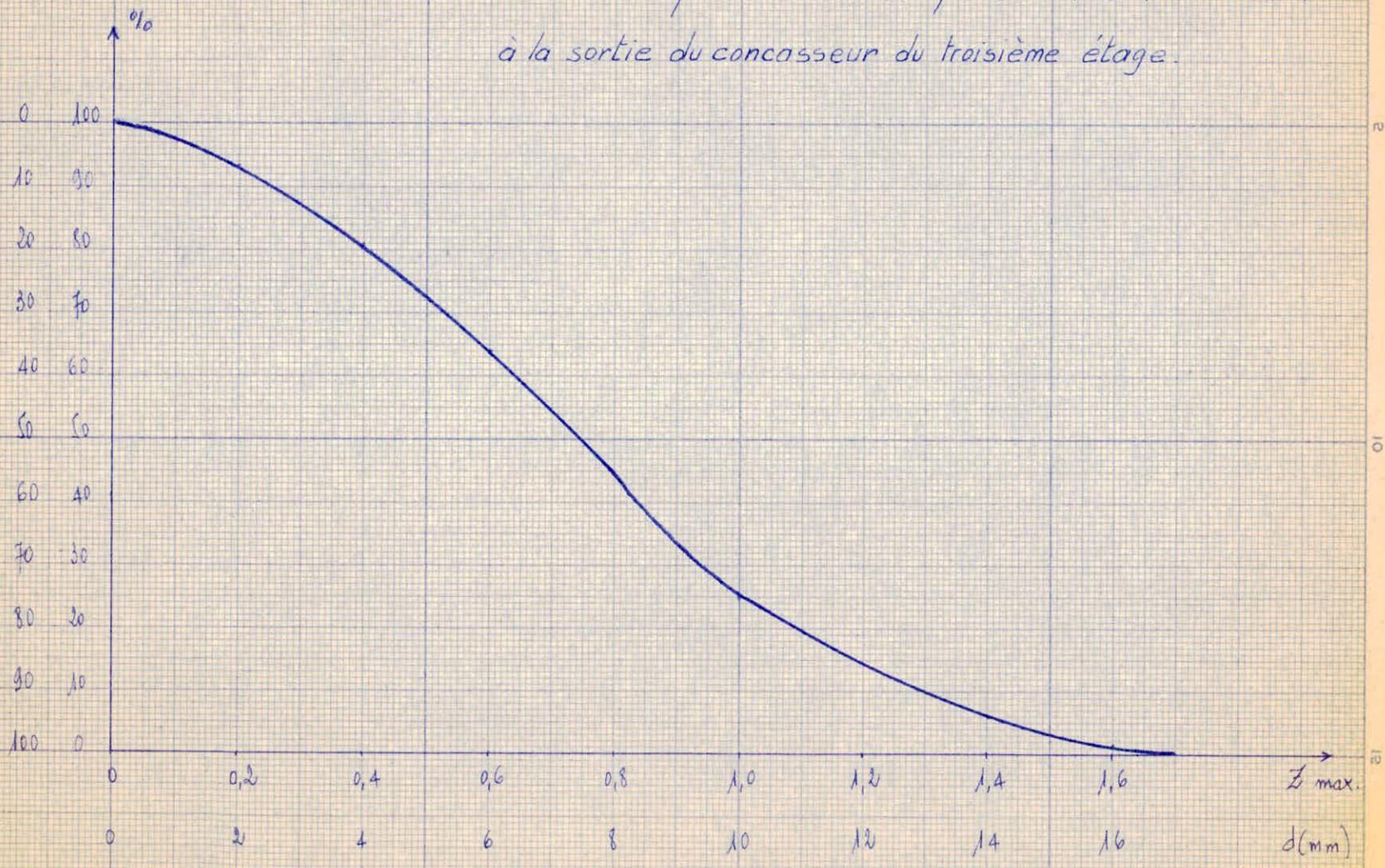


36



β_9

Caractéristique Granulométrique du Minerai
à la sortie du concasseur du troisième étage.



Calcul des Séparateurs Magnétiques

1er Etage :

$$\begin{aligned} Q_1 &= (\text{Débit total}) - (\text{quantité des fines éliminées}). \\ &= 41 - 41.17,35 \% = 33,9 \text{ t/h.} \end{aligned}$$

2° Etage :

$$\begin{aligned} Q_2 &= (\text{Débit du 1er Etage}) - (\text{F.M Récupérée au 1er Etage}) \\ &= 33,9 - 41.44,85 \% = 15,5 \text{ t/h} \end{aligned}$$

3° Etage :

$$\begin{aligned} Q_3 &= (\text{Débit du 2° Etage}) - (\text{F.M Récupérée au 2° Etage}). \\ &= 15,5 - 41.22,25 \% = 6,4 \text{ t/h.} \end{aligned}$$

Remarques :

Le calcul des séparateurs magnétiques a été fait pour une exploitation de 150.000 t/au. Mais leur utilisation serait encore possible si l'exploitation venait à être augmentée, vu que le coefficient d'utilisation de ces appareils est encore assez bas.

* Séparateur du I^e Etage

Classes	Débit / Classe	Nbre Sépar.	Débit des	Coef. d'Util.
-2/+1	41 . 20,40 = 8,40	3	4 t/h	70 %
-1/+0,63	41 . 18,25 = 7,5	2	4 "	94 %
-0,63/+0,315	41 . 17,50 = 7,2	2	4 "	90 %
-0,315/+0,160	41 . 15,25 = 6,3	2	4 "	79 %
-0,160/+0,074	41 . 11,25 = 4,6	2	4 "	57,5 %

* Séparateur du II^e Etage

Classes	Débit / Classe	Nbre Sépar.	Débit des S.	Coef. d'util.
-2/+1	41 . 10,50 = 4,3	2	4 t/h	53,5%
-1/+0,63	41 . 8,45 = 3,4	1	4 "	85 %
-0,63/+0,315	41 . 7,50 = 3,1	1	4 "	77,5%
-0,315/+0,160	41 . 6,50 = 2,7	1	4 "	67,5%
-0,160/+0,074	41 . 4,85 = 2,0	1	4 "	50%

* Séparateur du III^e Etage

classes	Débits / classe	Nbre Sépar.	Débit Sépar.	Coef. d'util.
-2/+1	41 . 4,50 = 1,8	1	4 t/h	45%
-1/+0,63	41 . 3,30 = 1,3	1	4 "	32,5%
-0,63/+0,315	41 . 2,60 = 1,1	1	4 "	27,5%
-0,315/+0,160	41 . 2,60 = 1,1	1	4 "	27,5%
-0,160/+0,074	41 . 2,55 = 1,1	1	4 "	27,5%

Pour les différents étages le même type de séparateur a été retenu (26 C), c'est un séparateur à galet, de débit horaire 4 t/h et qui peut être alimenté une granulométrie de $\frac{-3}{-7}$ à 0 mm.

Dans le cas présent le coef. d'utilisation de ces appareils pour certaines classes granulométriques est très bas, on pourrait dans la réalité choisir des appareils de séparation de débit horaire plus faible et capable de performances de séparation élevées.

Calcul Economique :

- Prix de revient de l'extraction d'une tonne de minerai (amortissement du matériel d'exploitation compris)

18,00 DA/T

*Coût de l'Enrichissement :a) La fragmentation :

Tous les appareils de l'usine fonctionnent 14 heures par jour. Le prix du K W H est de 0,10 DA. Nous aurons :

1er Etage : 1 concasseur de 150 KW ; il consomme : 2 100 KWH/J

2^e Etage : 1 " de 75 KW ; il " : 1 050 "

3^e Etage : 1 " de 75 KW ; il " : 1 050 "

Concassage fin : 1 concasseur de 75 KW ; il consomme : 1 050 KWH/J

soit au total : 5 250 KWH/J dont le prix est :

525 DA/J soit pour 500 tonnes à fragmenter d'où

le prix de la fragmentation d'une tonne : 1,05 DA/T

b) La classification :

Vu son utilité et son importance, son coût s'élève à 0,75 DA/T

c) Mains d'oeuvre et entretien : environ 1,00 DA/T

Prix de revient de la fragmentation : 2,80 DA/T

* Coût de la séparation magnétique

L'opération de séparation magnétique nécessite 22 appareils de puissance 5 KW chacun ; soit une dépense d'Energie de :

$$22 \times 5 \times 14 = 1540 \text{ KWH/J}$$

d'où le coût de la séparation d'une tonne de minerai : $\frac{1540 \cdot 0,10}{500} = 0,308 \text{ DA/T}$

La main d'oeuvre et l'entretien des appareils : 1,00 DA/T

soit le coût de la séparation : 1,308 DA/T

* Frais Généraux : 0,50 DA/T

* Amortissement :

Vu l'importance du matériel à installer, il faut prévoir un amortissement assez élevé : 1,50 DA/T

$$\boxed{\text{Coût de l'enrichissement : } 6,10 \text{ DA/T}}$$

Prix de revient d'une tonne de minerai Traité :

$$\boxed{18,00 + 6,10 = 24,10 \text{ DA/T}}$$

* Prix de vente d'une tonne de minerai :

D'après l'article de F. Callot "Production et consommation des minerais en 1968" dans "Annales des mines" Janvier 71 page 12 ; la tonne de minerai de fer est coté à : 13,06 \$
soit : 65,30 DA environ

D'où le Bénéfice réalisé par tonne de minerai vendu :

$$\underline{41,20 \text{ DA}}$$

* Calcul du Bénéfice non actualisé.

- Bénéfice annuel réalisé :

$$150.000 \times 41,2 = 6.180.000 \text{ DA.}$$

- Bénéfice total réalisé :

$$3.500.000 \times 41,2 = 144.200.000 \text{ DA}$$

* Calcul du Bénéfice actualisé :

Au rythme actuel d'exploitation (150.000 t/an)

la durée de vie de la mine est : 23 ans. On prendra pour taux d'actualisation $i = 8 \%$

- Bénéfice annuel non amorti :

$$B^{a.n.a} = 6\ 180\ 000 + 150\ 000 \times 1,5 = \underline{6\ 405\ 000 \text{ DA}}$$

- Investissements :

$$I = 3\ 500\ 000 \times 1,5 = \underline{5\ 250\ 000 \text{ DA}}$$

- Bénéfice total actualisé

$$B_a^t = -I + \sum_{n=1}^{23} \frac{B^{a.n.a}}{(1+i)^n}$$

$$B_a^t = -I + B^{a.n.a} \left[\frac{1}{(1+i)} + \frac{1}{(1+i)^2} + \dots + \frac{1}{(1+i)^{23}} \right]$$

$$\text{on pose } \frac{1}{r} = \frac{1-(1+i)^{-n}}{i}$$

$$\text{d'où : } B_a^t = -I + \frac{B^{a.n.a}}{r} = -5\ 250\ 000 + \frac{6\ 405\ 000}{0,10} = \underline{58\ 800\ 000 \text{ DA}}$$

$$\underline{\text{Bénéfice annuel actualisé : } \frac{58\ 800\ 000}{23} = \underline{2\ 556\ 500 \text{ DA}}}$$

BIBLIOGRAPHIE

* Revue de l'Industrie Minérale

6^e Congr  International :

Articles de MM : JOY, WATSON, GLEMBOTSKY, DURAND, GUYOT, GAUTHIER,
KLAUSSEN, KROKHIN, DAHLEM, KOSKAS, SOLLEMBERGER,
BOUCRAUT et MICHARD.

Sur la flottation et le grillage Magn tisant.

Articles de MM : BULLET, HENCLE, IVANIER et PLASKINE.

Sur la séparation Magnétique   Haute Intensité.

C. CHAUSSIN et G. HELLY t (I) et t (II).

"Elaboration des Métaux" et "Alliages Métalliques"

TAGGART :

"Extraction et traitement des minerais pauvres en
Europe"

HAVRE :

"Préparation mécanique et concentration des Minerais"

P. BLAZY :

"Valorisation des Minerais"

- Cours de Minéralogie et de traitement des Minerais ; dispensés à
l'E N P A par MM:

ARAB, MAHMALGI et NAZMY