

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MINIER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique



P0010/05A

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie minier

Thème :

*Essais d'amélioration de l'indice de blancheur
du minerai de carbonate de calcium du gisement
d'El-Khroub*

Proposé par :
ENG

Dirigé par :
M.OULD HAMOU.M (promoteur)
M.SAADA.A (copromoteur)

Etudié par :
M.GHEDEIR BRAHIM.
Samir

Promotion septembre 2005

ENP 10, Avenue Hassen Badi EL-HARRACHE-ALGER

Dédicace



- A ma très chère mère

- A mon très cher père pour son dévouement.

- A mes frères et sœurs.

- A tous mes amis

Je dédise ce modeste travail

Samir

Remerciements

La réalisation de ce travail a été possible grâce à la collaboration de l'entreprise nationale des granulats (ENG) , ainsi que l'aide accordée par nos promoteurs

Je tiens particulièrement à remercier :

- Mon promoteur Mr. Malek OULD HAMOU, pour son suivi et ses conseils pendant la réalisation de travail.
- Mr. Abdelhafid SAADA qui m'a beaucoup aidé.
- Tous ceux qui ont contribué à ma formation, notamment les enseignants du département Génie minier.
- La direction et le personnel de l'entreprise nationale des granulats (ENG) :
 - Mr le P.D.G : Dj. MOHAMED SAYAH, pour son Soutien.
 - Mr. BAAZIZ .M^{cd} qui ma beaucoup aidé.
 - Mr. Benchoui directeur de l'unité de carbonate de calcium à El-khroub.
 - M^{elle} T .MAGHMOUL ingénieur d'état en chimie industrielle pour ses aides
- Mr .ZOUAOUI.Omar
- Mr. R. BENBARKATT et A. DJAAFAR, respectivement responsable section de la valorisation des minerais et technicien laboratoire.
- Le président et les membres du jury, qui ont accepté de juger ce travail.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Partie Théorique

Chapitre I- Généralités sur le carbonate de calcium	
1- Définition.....	2
2- Etat naturel	2
3 -Description.....	2
4 – Caractéristiques.....	3
5- Utilisation	3
6- Production de calcaire.....	5
Chapitre II- La production de poudre de carbonate de calcium	
1- Place et importance du carbonate de calcium pour l'ENG.....	6
2- Procédés de production actuelle.....	8
Chapitre III-Séparation électromagnétique	
1- Introduction	13
2- Principe	13
3- Classification des séparateurs.....	14
4- Les différent types de séparateurs	14
1 - Séparateur magnétique à basse intensité (SMBI)	15
2- Séparateur magnétique à haute intensité (SMHI)	15
2-1- Séparateur à circuit conventionnel (électroaimants).....	15
3- Séparateur à haut gradient/haut champ [SMHG]	16
3.1- Principaux domaines d'application du SMHG	16
Chapitre IV- La flottation	
1- Généralités.....	17
2- Les réactifs utilisés dans la flottation	18
3- Les différentes opérations de flottation	19
4- Description d'une cellule de flottation	19
5- Type de Machines et circuits de flottation	19

Partie Pratique

Chapitre I- présentation du gisement d'El-Khroub

1- Situation géographique.....	22
2- Géomorphologie	23
3- Hydrographie.....	23
4- Genèse.....	23
4- Cadre litho stratigraphique	23
5- Tectonique.....	24
6- Caractéristiques pétrographiques	27
7- Réserves en carbonate de calcium.....	27

Chapitre II- Identification du minerai

1-Echantillonnage.....	28
2- Analyse minéralogique	28
3- Analyse chimique du tout venant	29
4- Analyses granulométrique et granulochimique	
1-Analyse granulométrique.....	31
2-Analyse granulochimique.....	33

Chapitre III- Etude comparative sur la blancheur.....36

Chapitre IV- Essais de séparation

1-Introduction	37
2- Essais de Séparation Electromagnétique.....	38
A - Introduction	38
B- Les conditions opératoires	38
C- Les résultats des essais de séparation électromagnétique.....	39
D- Les résultats des analyses chimiques des fractions non magnétiques.....	39
E- Les résultats des analyses de la blancheur	40
F- Conclusion.....	41
3- Essais de flottation.....	42
A- Les réactifs utilisés pour la flottation.....	43
B- Les résultats des essais de flottation, analyses chimiques et de la Blancheur	47
C- Conclusion.....	48.

CONCLUSION GENERALE.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	50
ANNEXE.....	52

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Table des matières

Partie théorique

الجامعة الوطنية للتكنولوجيا
UNIVERSITÉ NATIONALE
الطبيعية والتقنية
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction générale

المركز الوطني للتكنولوجيا
BIBLIOTHÈQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie du carbonate de calcium, de nos jours, s'avère être très importante si nous considérons la multitude de domaines d'utilisation en tant que matière première. A titre d'exemples, citons : les industries de papier, de la peinture, de la céramique, du béton, des plastiques... etc.). Cette matière est caractérisée par une couleur particulière : sa blancheur spéciale. Cette caractéristique confère une bonne qualité aux produits, provenant de l'industrie de la peinture, de la verrerie et de la céramique, car nécessitant une forte blancheur.

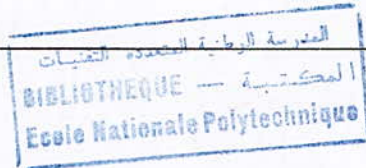
La blancheur du carbonate de calcium est influencée par des éléments, tels que les oxydes de fer, les argiles et le mica.

A l'heure actuelle, la production de cette matière se base souvent sur l'emploi des procédés mécaniques, impliquant des stades de concassage, de broyage et de classification du minerai. L'étude d'orientation, que nous nous proposons de mener suite à la demande de l'entreprise nationale des granulats (ENG), concerne le traitement de la poudre de carbonate de calcium contaminée, provenant du gisement minier d'El-Khroub (Constantine). Ce traitement a pour objectif d'améliorer le degré de blancheur de cette poudre de calcium, issue de l'atelier de préparation mécanique existant sur le site. La contamination la plus importante provient de la présence de l'oxyde de fer dégradant facilement la blancheur. Afin d'éliminer l'oxyde de fer, nous avons investigué deux procédés minéralurgiques :

- 1/- la séparation électromagnétique ;
- 2/- la flottation.

Les essais de traitement et les analyses ont été réalisés au niveau du laboratoire de valorisation des minerais de l'office de la recherche géologique et minière (ORGM) à Boumerdes.

Chapitre - I - Généralités sur le carbonate de calcium



I- Présentation du Carbonate du calcium : [14], [15], [16], [17]

I- 1/Définition :

- Nom Chimique : carbonate de calcium.
- Formule : CaCO_3
- Poids Moléculaire : 100,09 g/mole
- Forme Cristalline : Calcite rhomboédrique.
- Teneurs moyennes de l'écorce terrestre : 4% en Ca, 7% en CaCO_3 .

I – 2 -Etat naturel

Le calcium est surtout présent sous forme carbonatée, CaCO_3 (principalement de la calcite, de l'aragonite) dans des roches de calcaires (plus de 50% de CaCO_3), de dolomies (contenant de la dolomite, $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$, de marnes (calcite et argile).

- Calcaires particuliers : craie (90 à 98% de CaCO_3), castine (fondant utilisé en sidérurgie, métallurgie, verreries...), stalactites, stalagmites, marbre....

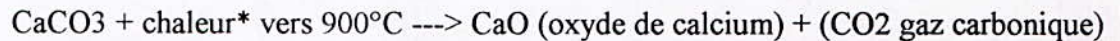
- Les dépôts de calcaire abondent presque partout dans le monde. les roches calcaires représentent 20 % des roches sédimentaires. Le calcaire est extrait à ciel ouvert . Une partie extraite est employée comme granulats, entrant dans la composition des bétons, la structure des chaussées...

I -3- Description

C'est une poudre fine, blanche, microcristalline, elle est inodore et insipide. Pratiquement insoluble dans l'eau (14mg/l à 25°C, 18mg/l à 75°C) et l'alcool. La présence de sel d'ammonium ou de dioxyde de carbone augmente la solubilité dans l'eau, et , la présence d'hydroxyde alcalin la diminue.

I-4- Caractéristiques :

- PH : 9 dans une solution diluée à 10%
- La dissociation du carbonate de calcium ou décarbonatation sous l'effet de la chaleur se fait environ vers 900°C :



* : il faut environ 396 Kcal/kg de CaCO_3

- Stabilité du produit: produit stable dans les conditions normales d'utilisation et de stockage.
- Réaction : elle est dangereuse avec l'acide concentré.
- Produits Non toxiques.
- Produits non dangereux pour l'environnement.
- Condition de Stockage: Stocker à l'abri de l'humidité; assurer une bonne Ventilation du local.
- masse volumique absolue : $\text{MVA (kg/m}^3) = 2.7$
- module de déformation : $E = 80000 \text{ MPa}$

I-5-Utilisation :

Le carbonate naturel :

Castine pour la sidérurgie	Castine pour d'autres industries
Calcaire pour verreries et céramiques	Calcaire Surdosé de cimenteries
Calcaire pour routes	Calcaire pour amendements des sols
Calcaire pour la production de Chaux	Calcaire pour autres usages

I -5-1-Utilisations du carbonate naturel :

- le carbonate synthétique est utilisé comme charge blanche dans l'industrie du papier (75 % de la consommation), de peintures, des plastiques et du caoutchouc.

I -5-2-Utilisations particulières

- -Sidérurgie : le CaCO_3 appelé castine est ajouté, comme fondant, au minerai et au coke dans le gueulard du fourneau, afin de faciliter la fluidité du laitier, par formation de silicates ou silicoaluminates de calcium.
- -Amendement agricole : sous forme de CaCO_3 (apport compté en CaO). Il Permet d'apporter les ions Ca^{2+} consommés par les récoltes, de diminuer l'acidité des sols et d'améliorer le travail du sol.
- -Désulfuration : introduit finement broyé, avec le charbon lors de sa combustion dans des centrales thermiques. Permet d'éliminer jusqu'à 95% du soufre, qui serait émis sous forme de SO_2 .
- Source de CO_2 : par exemple dans la fabrication de Na_2CO_3 selon le procédé Solvay.
- C'est La matière première pour la production de chaux vive ou d'oxyde de calcium, CaO .
- Le céramiste utilise le carbonate de calcium sous forme de craie ou de marbre broyé lorsqu'il veut apporter de l'oxyde de calcium soit à une pâte (faïence calcaire...) soit à une fritte ou à une couverte.

I -6-PRODUCTION DE CALCAIRE : [14]

Les estimations sont de l'ordre de million tonnes. 2250 pour le monde occidentale hormis les USA avec 750 .C'est la 2ème industrie extractive, en tonnages, après celle du sable et des graviers.

Carbonate de calcium précipité : CaCO₃ est également produit synthétiquement, en quantités nettement moins importantes, par précipitation de lait de chaux purifié à l'aide de CO₂ ou de carbonate de sodium naturel. Dans ce dernier cas, de l'hydroxyde de sodium est également produit. En 1995, la production mondiale est estimée à 2,5 millions tonnes dont 1,3 millions tonnes aux États-Unis. Le produit obtenu, plus pur que le produit naturel, est principalement utilisé dans l'industrie papetière comme charge blanche des papiers. La société Minerals Technologies produit 80 % de la demande industrielle des Etats-Unis avec 36 usines implantées sur les sites des industries papetières.

Le carbonate de calcium précipité est concurrencé par le calcaire pur finement broyé dont la production mondiale est de 9 millions tonnes en 1995. Ses principales utilisations concernent, en Europe de l'Ouest, l'industrie papetière où les papiers contiennent jusqu'à 28 % de charge blanche. Au Japon, le principal marché est celui des matières plastiques.

Chapitre - II - La production de poudre de CaCO_3

Carbonate
de calcium

1-Place et importance du carbonate de calcium pour l'entreprise ENG :[6]

Depuis sa mise en exploitation , l' ENG fournit diverses industries consommatrices du carbonate de calcium à environ 2400 entreprises (privées et publiques) nationales.

La production projetée initialement à 100000 T/an ne cesse de progresser et est porté aujourd'hui à plus de 150000 T/ an , de plus l'entreprise ENG envisage de doubler sa production installée.

Activités	Volume	Volume %	Chiffre d'affaires (Ca) %	(Ca) %Entreprise
Verre	1200	1,1	1,3	21,4
carreau granito	64500	60,3	26,8	
Peinture & dérivés	39400	7,3	65,3	
Plastique	1500	1,3	5,1	
Autres applications	300	0,3	1,5	
Total	106900	100	100	

Tableau II-1 : Importance du carbonate de calcium pour l'entreprise Lequel, carbonate représente à lui seul 21.4 % de son chiffre d'affaires

1.2- Le problème posé :

Le problème posé à l'unité de carbonate de calcium concerne l'irrégularité de la blancheur de ses produits. Comme le montre les rapports et statistiques d'exploitation.

Dans les conditions actuelles d'exploitation, il est quasiment hasardeux de parier au terme de qualité sur une quelconque blancheur .

Des rapports de laboratoire, on y relève des valeurs de blancheur en dents de scie fluctuant entre 81 et 87 % avec un maximum de 89 % .

A cause des fluctuations de la blancheur, l'unité s'est vue contrainte de rejeter toute une production de poudre (rapport de clôture Unité Carbonate) , suivi encore à mainte reprises de refus de tout venant au niveau du poste primaire de concassage.

De plus, l'observation statistique au cours des années d'exploitation (tableau ci-dessous) a montré au fil des ans une dégradation continue de la blancheur des produits commercialisés, qualité première exigée par les industries de peintures et carreaux granito, clients potentiels qui ne demandent que du blanc et qui représentent 97% en volume de la production vendue et 92% du chiffre d'affaire de l'unité carbonate de calcium.

ANNEE	Produit			
	UF5	UF10	F15	F20
1996	92 %	91 %	90 %	-
1997	89 %	87 %	86 %	85 %
1998	88 %	88 %	86 %	84 %
1999	88 %	87 %	86 %	81 %
2000	87 %	86 %	84 %	84 %

Tableau II-2 : Dégradation de la blancheur des produits commercialisés au fil des années d'exploitation

2 - Définition et mesure de la blancheur : [6]

La blancheur se définit comme étant le rapport exprimé comme pourcentage de la radiation réfléchié par un corps sur celui réfléchi par un diffuseur contrôlé réfléchissant parfaitement à une longueur d'onde effective avec un photomètre à réflectance photoélectrique.

Le corps diffuseur est un témoin reconnu par l'organisme International Standards Organisation (ISO). Le témoin adopté par C.E.I est un disque de sulfate de barium.

Précédemment, la blancheur est mesurée par un photomètre à réflectance photoélectrique sur l'échelle Y, laquelle a été défini par la C.I.E en 1931 (Commission Internationale de L'Eclairage) ou Y désigne le facteur d'éclat.

De nos jours les fabricants de carbonate de calcium expriment leur blancheur sur l'échelle L. Cet espace colorimétrique uniforme recommandé par la C.I.E en 1976 a pour but de faire correspondre plus précisément à la vision humaine des couleurs et à la perception des différences de couleur.

L'appareil de mesure dit photomètre à réflectance photoélectrique donne par simple lecture au choix et à la fois les deux lectures en L et en Y.

La blancheur en L est reliée à celle de Y par relation déduite de nos résultats :

$$L = 0.4415 Y + 56.308$$

3- Les paramètres influant sur la blancheur : [6]

Le carbonate de calcium qui n'est autre que de la roche calcaire à haute titre en CaCO_3 est constitué essentiellement pour 99.9% de SiO_2 , d' Al_2O_3 , Fe_2O_3 et de CaO .

Les observations statistiques porteront donc sur ces quatre éléments :

- Fe_2O_3 : généralement un élément de coloration (hématite)
- SiO_2 , Al_2O_3 : sont des éléments d'abrasivité (quartz, corindon)
- CaO : élément dominant de la blancheur

4- Procédés de production actuelle :

Les procédés actuels de production de carbonate de calcium à l'usine concernent uniquement un atelier de préparation mécanique, incluant des opérations de concassage, de broyage, et de classification. Le schéma technologique de production de la poudre de carbonate de calcium, représenté en figure 01 se résume comme suit:

1- le tout venant de la carrière contenant des blocs de dimensions inférieures à 1000mm, passent par un pré cribleur (scalper) où les fines de dimensions inférieures à 40 mm sont rejetées, alors que le refus alimente un concasseur à mâchoires à double effet. Le produit concassé a une granulométrie variant de 0 à 300 mm.

2- Ce produit est concassé dans un concasseur secondaire (à percussion). le scalpage n'est pas toujours appliqué, car il dépend de la qualité du produit à concasser, le produit présente une granulométrie variant entre (0 - 50) mm.

3- le passage à travers un crible vibrant à deux grilles permet de classer le produit en trois

Catégories granulométriques:

- Entre (0 - 3) mm, il s'agit d'un sable adapté à l'alimentation du bétail ;
- Entre (3 - 5) mm, il est conditionné dans des big bag pour les mono couches et fabrication de carrelages ;
- Entre (5 - 50) mm, passage à travers une bande transporteuse vers l'usine de produits fins et ultrafins.

4- le produit qui alimente l'usine passe auparavant par le birotor, où il est réduit à (0-2) mm.

Il alimente trois points :

- le silo 0-2mm, stockant un produit vendu directement.

- le tamiseur à fréquence électromagnétique permettant de classer de la manière suivante les produits :

A- Incluant le (0.800 - 2) mm.

B- Incluant le (0 - 0.800) mm ; ce produit alimente un séparateur ventile à deux cyclones à deux étages, Les produits obtenus sont :

F15 : (0 - 0.100) mm et leur refus AL150 (0.100 - 0.800) mm.

F20 : (0 - 0.200) mm et leur refus AL 200 (0.200 - 0.800) mm.

C- Le broyeur à barres: le produit est broyé à (0.250) mm, puis évacué par un extracteur dans un séparateur ventilé mono étage, où il effectue la séparation des produits ultrafins :

UF10 : (0- 0.04) mm et leur refus F50 (0.04-0.250) mm.

UF5 : (0 - 0.02) mm et leur refus F30 (0.02 – 0.250) mm.

5 - Caractéristiques des équipements utilisés :

Concasseur primaire

Concasseur à mâchoires à double effet

Marque	DRAGON
Type	MR 140
Capacité installée	400 t / h
Taux de scalpage	10 %
Régime de travail	140 heures / 2 x 1 semaines
Besoin max	18000 tonnes / 2x1 semaines
Rendement	85 %

Concasseur secondaire

Concasseur à percussion

Marque	HAZEMAG
Type	PS. 13. 13
Débit	200 t / h
Taux de scalpage	48 %
Taux d'élimination sable	30 %
Régime de travail	20 h / jour
Besoin exprimé	18000 t / 2 x 1 semaines

Crible vibrant

Marque	CHAUVIN
Débit d'alimentation	80 à 110 t / h

Nombre d'étages	2 étages
Granulométrie d'alimentation	0 à 50 mm
Granulométrie de sortie	0 – 3 mm
	3 - 5 mm 30 t / h
	5 - 50 mm 70 t / h

Birotor (Broyeur à marteaux) :

Marque	HAZEMAG
Débit d'alimentation	25 t / h
Granulométrie d'alimentation	3 – 50 mm
Granulométrie de sortie	0 – 2 mm
Nombre marteaux	40
Nombre de rotors	2

Broyage ultrafin**Broyeur vibrant**

Granulométrie d'alimentation	0 – 2 mm
Granulométrie de sortie	0 - 0.250 mm

La séparation de produit fin**Tamiseur à fréquence électromagnétique**

Marque	RHEWUM
Débit d'alimentation	30 t / h
Granulométrie	0.2 à 2.5 mm

Coupure :

- granulométrie : 0 – 0.8 mm - débit : environ 26 t / h
- Granulométrie : +1.5 mm - débit : environ 1 t / h

Séparateur ventile

Débit d'alimentation	25 t / h
Granulométrie	0 – 0.8 mm
Nombre de cyclones	2
Nombre d'étages	2

La séparation de produit ultrafin :

Séparateur ventile

Débit d'alimentation	5 t / h
Granulométrie	0 - 80 mm
Nombre d'étages	1
Température	ambiante

Chapitre - III - Essais de séparation

I- La séparation électromagnétique : [2] ; [7]

I-1- Introduction :

L'industrie minière et de recyclage emploie depuis de nombreuses années les techniques de séparation magnétique pour ses objectifs de concentration ou d'épuration.

La séparation magnétique utilise la force engendrée par un système magnétique (aimant permanent, électroaimant, solénoïde) pour séparer des particules présentant des propriétés magnétiques différentes.

Principes :

La séparation magnétique exploite les propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique. À partir de cette propriété, les matériaux peuvent être divisés en trois classes. La première classe est composée des matériaux ferromagnétiques dont la susceptibilité magnétique est très forte. La deuxième classe comporte des matériaux paramagnétiques qui présentent une susceptibilité magnétique faible. La troisième classe est constituée des matériaux diamagnétiques possédant une susceptibilité nulle. La séparation magnétique est accomplie par entraînement des matériaux susceptibles lors de leur passage à travers un champ magnétique. Ce dernier peut être produit à l'aide d'un aimant permanent ou d'un électroaimant. L'utilisation des électroaimants comporte plusieurs avantages dont la possibilité d'ajuster l'intensité du champ magnétique en variant l'intensité du courant électrique.

La grosseur et la masse volumique des particules ou morceaux devant être séparés influencent le traitement. La séparation des grosses particules denses requiert un champ magnétique plus intense que la séparation des petites particules légères. Il est essentiel de souligner que l'efficacité du procédé dépend du degré de libération ou de la pureté des matériaux à séparer.

Pour que la séparation magnétique ait lieu, il est nécessaire que la valeur de la force magnétique soit supérieure à la somme des forces antagonistes développées par le système et des forces inter particules.

II- Classification des séparateurs

Plusieurs critères de classement peuvent être utilisés : l'intensité du champ magnétique, le milieu de séparation (eau ou air), le mode de fonctionnement (extraction ou déviation), le générateur de champ magnétique, etc.

Les séparateurs magnétiques peuvent donc se classer en trois grandes familles:

- Les séparateurs à basse intensité (aimant permanent) ;
- les séparateurs à haute intensité (électroaimant ou aimant permanent en céramique) ;
- les séparateurs à haut gradient et/ou haut champ (solénoïde).

Chacune de ces familles est subdivisée en séparateurs travaillant en voie sèche ou en voie humide, les premiers étant réservés en général aux traitements de produits grossiers (granulométrie de l'ordre du centimètre à quelques millimètres), les seconds de produits plus fins: (granulométrie inférieure à 1 mm).

III-- Les différents types de séparateurs :

III- 1 - Séparateurs magnétiques basse intensité (SMBI) :

Ils permettent de traiter soit des granulométries plus fines, soit de plus fort tonnage à l'alimentation.

Ils sont à champ magnétique profond pour attirer à distance, ou maintenir des pièces relativement importantes. Ces appareils ont une application principalement dans le domaine des carrières, des ateliers de concassage, des unités de tri métallique (broyage automobile, ordures ménagères (brute ou mâchefer), recyclage - récupération ferraille...).

Les performances de ces séparateurs varient avec les types d'appareils, mais également avec la vitesse de rotation de tambour, les dispositions de montage, la conception du circuit magnétique, les débits, la granulométrie de traitement et la composition minéralogique. Les débits sont de l'ordre de 200 à 300 t/hm et les vitesses varient généralement de 0,6 à 2,2 m/s.

-La séparation en voie humide est généralement employée chaque fois que la granulométrie du produit à traiter devient fine et que la séparation en voie sèche devient inopérante du fait de la prépondérance de l'effet de l'attraction électrostatique entre les particules.

Les principaux domaines en minéralurgie sont :

- L'enrichissement de minerais de fer à base de magnétite ou pyrrhotite,
- la purification et la deferrisation de minéraux industriels,
- La récupération de la magnétite ou du ferrosilicium dans les ateliers de traitement en

milieu dense.

III- 2-Séparateur magnétique à haute intensité (SMHI) :

Les séparateurs à haute intensité sont à circuits magnétiques conventionnels (culasse magnétique à fer doux et bobines en cuivre). Les débits solides varient quant à eux suivant le mode de séparation (sèche ou humide) et l'opération de traitement (concentration, épuration) entre 6 et 180 t/h. Durant ces dernières années, l'apparition sur le marché d'aimants permanents à base de terres rares (Sn - Co ou Fe - Nb - B) a permis la réalisation de nouveaux séparateurs à haute intensité. Ces derniers se substituent de plus en plus dans beaucoup de cas (surtout en épuration de minéraux industriels et en recyclage de matériaux) aux appareils traditionnels du fait de leurs coûts d'investissement et de fonctionnement nettement inférieurs.

III- 2-1- Séparateurs à circuit conventionnel (électroaimants)

➤ Séparateurs en voie sèche

la granulométrie de traitement suivant le mode de récupération des produits magnétiques (extraction ou déviation).

- *Séparateur travaillant par extraction (figIII-1)*

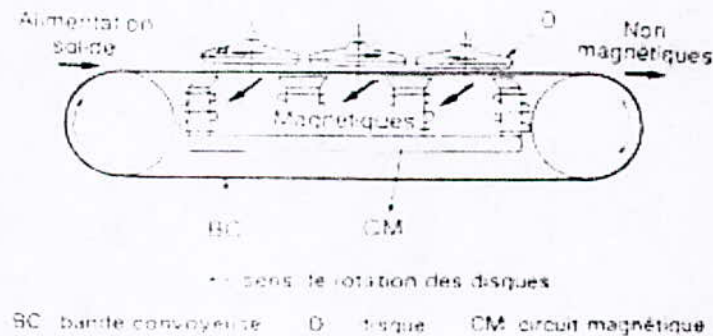


Figure III - 1: séparateur haute intensité à disques [2]

Un système de bande transversale se déplaçant sur la pièce polaire supérieure ou un disque denté tournant au dessus de la bande d'alimentation permet l'évacuation des produits magnétiques. Ces systèmes sont bien adaptés aux traitements de concentration ou

d'épuration, de finition de concentré de gravité, des substances telles que ilménite, chromite, monazite, wolframite, produits pharmaceutiques ou chimiques, céramiques...

-Séparateur travaillant par déviation

Ils trouvent une application dans de nombreuses industries et principalement pour:

- La concentration de minéraux paramagnétiques : minerais de fer, chromite, manganèse,... ;
- L'épuration de minéraux industriels : feldspaths, sables, andalousite, calcaire... ;
- La Séparation entre deux éléments paramagnétiques (minéraux des sables) comme ilménite- monazite, xénotine - tourmaline, etc.).

➤ Séparateur en voie humide :

Le séparateur magnétique à haute intensité humide permet de séparer les particules diamagnétiques des particules paramagnétiques. Ces appareils sont rarement utilisés industriellement à cause de leurs grosses difficultés technologiques

III-3- Séparateur à haut gradient/haut champ [la SMHG] :

L'emploi de circuits conventionnels (ou d'aimants permanents) a malgré tout de gros inconvénients et la tendance actuelle pour le traitement du produit fin en particulier est de remplacer ces masses magnétiques par des solénoïdes (en cuivre ou supraconducteur).

Les séparateurs solénoïdes présentent l'avantage d'effectuer la séparation à l'intérieur, où l'on a mis une matrice de type mousse ou laine d'acier ou plaque de métal expansé dans laquelle sont retenues les fines particules paramagnétiques

• Principaux domaines d'application de la SMHG :

L'application de ces techniques a permis d'étendre la séparation magnétique à des minerais non économiquement valorisables par d'autres méthodes ou à d'autres secteurs d'activité. Cette méthode a surtout permis de repousser les limites techniques de séparation vers les particules ultrafines et pour des rendements d'épuration similaires, sinon meilleurs, présentant un intérêt économique pour ce qui est trait aux coûts de fonctionnement.

Cette application se retrouve dans plusieurs domaines à savoir suivants :

- Dans la purification de produits destinés à l'industrie du verre ou de la céramique, nécessitant un taux d'épuration élevé (argiles kaoliniques, sable, syénites néphéliniques),
- Dans la concentration de minéraux comme des ultrafines de Fe, Mo, W, terres rares ou de résidus métalliques pour le recyclage.

II- La flottation : [1] ; [7] ; [11]

II- 1-Généralités

La flottation permet de séparer les solides entre eux, en mettant à profit la différence de leurs propriétés superficielles dans une solution aqueuse et en présence d'air. Plus tard, ce procédé a été appliqué à la séparation solide-liquide et à l'extraction d'ions en solution.

Le principe de la flottation des minerais est le suivant : les particules solides sont mises en suspension par agitation dans de l'eau après qu'un broyage humide, plus ou moins poussé, ait libéré de la gangue l'espèce minérale valorisable. Ce mélange solide-eau (ou pulpe) est conditionné avec un réactif chimique appelé collecteur, dont le rôle consiste à rendre hydrophobe la surface du minéral à flotter, afin de lui conférer une affinité plus grande pour la phase gazeuse que pour la phase liquide.

On obtient une action sélective du collecteur en faisant appel à des modificateurs, les déprimants et les activants, qui modifient son affinité pour certaines surfaces minérales. Il s'agit alors du procédé de flottation différentielle, permettant, par exemple, la séparation des sulfures, des oxydes, des silicates, des sels.

La pulpe, ainsi conditionnée, est introduite dans des réacteurs munis d'agitateurs aérés (cellules de flottation), ou d'injecteurs d'air (colonne de flottation), ou d'électrodes (électroflottation) générant des bulles d'air et les dispersant. Les particules rendues hydrophobes se fixent à la surface des bulles qui constituent un vecteur de transport grâce à leur mouvement ascensionnel vers la surface libre de la pulpe. On obtient ainsi une mousse surnageante chargée en solides, appelée écume. La taille des bulles (et par suite l'aire interfaciale liquide-air) et la durée de vie de la mousse sont modulées par l'addition d'un moussant. Le liquide entraîné est drainé par gravité à l'intérieur même de la mousse, qui est recueillie par débordement.

On peut donc définir plusieurs opérations élémentaires lors du processus de flottation :

- conditionnement des surfaces des solides par des modificateurs de l'adsorption du collecteur.
- adsorption du collecteur sur la surface d'un solide déterminé.
- contact entre les particules solides et les bulles d'air.
- transport de l'ensemble bulles-particules vers la surface de la pulpe.

- formation et récupération de l'écume.

II- 2-Les réactifs utilisés dans la flottation :

1- Le collecteur : est un agent tensioactif (surfactant), molécule organique hétéropolaire constituée par au moins une chaîne hydrocarbonée et une tête polaire, qui peut comporter un ou plusieurs groupes salifiants facilement ionisables. Selon que la charge de la tête polaire, après dissociation dans l'eau, est négative ou positive, le collecteur est anionique ou cationique. Le caractère tensioactif est conféré par l'affinité de la chaîne pour la phase gazeuse, et de la tête polaire pour la phase liquide. La molécule tensioactive est donc orientée à l'interface air-eau (voir figure).

2 -Le régulateur de milieu : est un réactif qui détermine le degré d'acidité ou d'alcalinité de la pulpe.

3-Les déprimants : ces réactifs servent à diminuer la flottabilité des minéraux de la roche stérile ou diminuer la flottabilité des minéraux , qui doivent passer au produit de la cellule (les plongeant).

4 -Les activants : contribue à la fixation des collecteurs sur la surface des minéraux.

5 -Les moussants : sont aussi des tensioactifs dont la constitution rappelle celle des collecteurs, puisque ce sont aussi des molécules organiques hétéro polaires appartenant principalement aux familles des alcools et des polyéthers, mais qui ne s'adsorbent pas ou s'adsorbent peu sur les surfaces minérales. D'ailleurs, tous les collecteurs présentent plus ou moins des propriétés moussantes.

La formation des mousses :

La stabilité de la fixation sur des bulles, des particules minérales rendues hydrophobes par les collecteurs, est assurée par le moussant. Théoriquement, le moussant reste dans la phase liquide mais, en pratique, il existe des interactions entre moussant, collecteur et minéral.

Rôle du moussant :

Le moussant, par définition, agit à l'interface liquide/gaz. Il a trois fonctions essentielles :

- Créer des interfaces liquide-gaz importantes. Les bulles d'air dispersées dans les pulpes ont des distributions dimensionnelles très étendues, allant généralement du dixième du millimètre à plusieurs millimètres au départ, suivant les dispositifs utilisés. Au cours de l'ascension dans la cellule de flottation, les fines bulles diffusent dans les plus grosses. En présence de moussant, les bulles sont beaucoup plus petites, de 0,1 à 1 mm (0,5 mm en moyenne). Elles ont une forme très voisine d'une sphère (en raison de la très grande élasticité de leur surface, que leur confère le tensioactif

adsorbé), alors que, en l'absence de moussant, elles ont des formes allongées.

- Faciliter la fixation à l'interface liquide-gaz des particules collectées, par coadsorption avec le collecteur. Le revêtement collecteur se trouverait donc plus
- Donner une écume (mousse + particules) pseudo stable au-dessus de la cellule de flottation. L'écume sert, en effet, de milieu de séparation des particules solides que l'on désire récupérer de celles qui ne flottent pas. Son rôle mécanique est essentiel.

II- 4-Les différentes opérations de flottation :

Dans la flottation pratique, différents Schémas d'enrichissement sont utilisés, et ceci selon le produit que l'on désire obtenir.

a) La flottation principale :

A pour but de séparer les différents groupes de minéraux ; elle peut être simple, collective, semi-globale ou différentielle.

b) La flottation de lavage :

c'est la flottation des concentrés grossiers de la flottation principale, afin d'améliorer leurs qualités. Plus le nombre de lavages est grand, plus la teneur en minéral augmente, et la récupération diminuera.

c) La flottation de contrôle :

Pour voir si le stérile de flottation principale est encore riche en élément utile, on lui fait subir une flottation de contrôle, pour réduire au maximum la teneur en minéral de valeur.

II- 5-Description d'une cellule de flottation :

La cellule de flottation présente souvent la forme extérieure d'un parallélepide rectangulaire ou d'un cylindre, à l'intérieur duquel, se trouvent disposés les éléments suivants :

- Un agitateur souvent constitué d'un rotor;
- Un dispositif permettant d'introduire de l'air dans la cellule au moyen d'un diaphragme.

II-6-Types de Machines et circuits de flottation :

Il existe deux types principaux de machine de flottation, selon le mode de génération des bulles d'air et de mise en suspension de la pulpe :

- Les cellules à agitation mécanique (annexe I) ;

- Les cellules pneumatiques dépourvues généralement d'agitation mécanique (annexe I)

(Colonne de flottation) : Les colonnes de flottation font partie des équipements pneumatiques de flottation. Elles ont été développées récemment et sont particulièrement efficaces pour traiter

les particules fines. Leurs coûts d'achat et d'opération sont avantageusement bas, La colonne de flottation comporte deux principaux avantages par rapport à la cellule de flottation.

Premièrement, la flottation parasitaire est réduite par l'ajout de l'eau de Lavage. Deuxièmement, les chances de collision entre les bulles d'air et les particules sont augmentées grâce à la hauteur de la colonne qui peut s'élever jusqu'à 15 mètres pour les applications industrielles (Gill, 1991). Comme dans le cas des cellules, la flottation en colonne peut être effectuée à petite échelle ainsi qu'à l'échelle Industrielle.

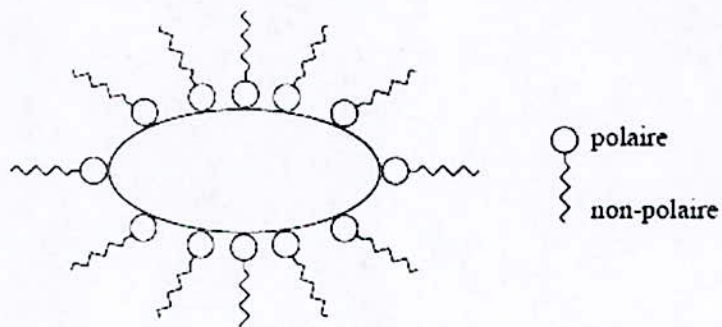


Fig (III - 2) : Mode d'action d'un collecteur [7]

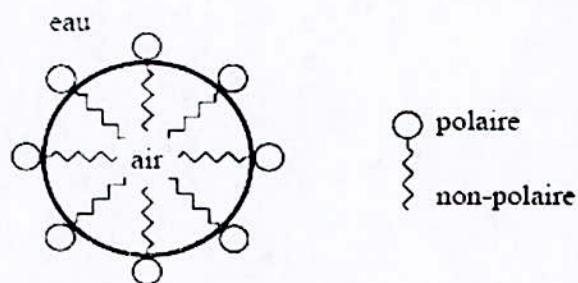


Fig (III - 3) : Mode d'action d'un moussant [7]

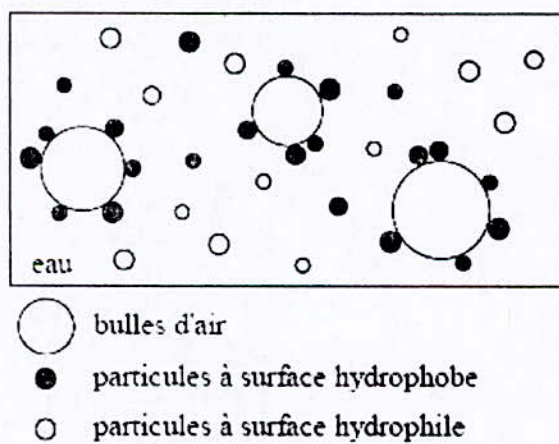


Fig (III - 4) : Fixation des particules à surface hydrophobe aux bulles d'air [7]

Partie pratique

Chapitre -I- Présentation du gisement d'EL-khroub

I- Géologie du gisement [9] ; [10]

1- Situation géographique :

Le gisement d'El-Khroub se situe à 30 Km au Sud-est de la wilaya de Constantine et à 10 Km de la Daïra d'El-Khroub, il fait partie de la zone industrielle de Bounouara (Figure I-1), dont les coordonnées Lambert rapportées au centre du gisement sont :

X (la latitude)= 866.100

Y (la longitude)= 334.960

Z (l'altitude)=1180 m

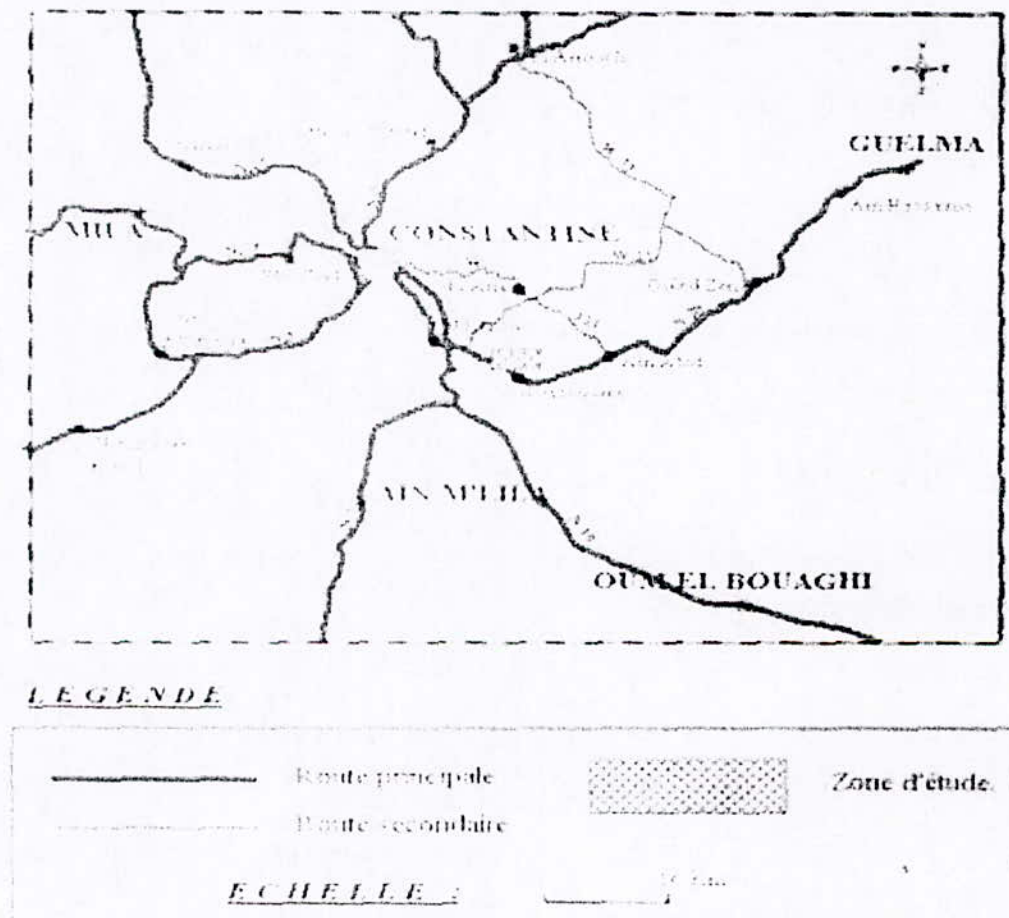


Figure I-1 : Plan de situation du gisement d'El-Khroub [6]

2-Géomorphologie:

Le gisement de calcaire d'El-khroub constitue un massif montagneux qui culmine à plus de 1000 m d'altitude. Les formations du gisement sont datées du Crétacé moyen, représentées par des bancs de calcaire appartenant à une terminaison périclinale très fracturée et altérée.

Ce massif calcaire présente deux lignes de crêtes orientées NNE-SSO, qui se joignent au Nord, Celles-ci sont séparées par un talweg qui est limité par des oueds.

3- Hydrographie :

Le réseau hydrographique de cette région est dense ; les plus importants oueds de cette région sont Oued Rhumel et Oued El-barda qui coulent presque toute l'année.

4- Genèse :

La genèse du gisement de calcaire d'El-Khroub appartient aux faciès marins du crétacé moyen. Cela est confirmé par la présence de fossiles. La structure microcristalline d'une partie des calcaires témoigne du dynamo- métamorphisme que l'assise carbonatée avait subi.

5- Cadre litho stratigraphique :

Stratigraphiquement, la région est constituée par les dépôts du Trias, du Crétacé, du Tertiaire et du Quaternaire.

-Trias :

Les dépôts triasiques affleurent au Sud-Ouest de Constantine et sont représentés par des marnes bariolées et des pointements gypseux.

Crétacé Inférieur (Ci) :

Représenté par des calcaires recristallisés et rarement par des marnes.

Crétacé Moyen et supérieur (Cm et Cs) :

Représenté par des calcaires gris-clair et gris foncé. Le gisement d'El-Khroub est attribué à ce niveau.

-Eocène :

Représenté par des calcaires et de marnes avec intercalations de grès et d'argile. Sa puissance est de 220 m.

-Oligocène :

Caractérisée par des grès, schistes et rarement par des calcaires.

-Miocène :

Représenté par des conglomérats, grès, sable, argiles grises et plus rarement par des calcaires.

-Pliocène :

Représenté par des marnes d'origine lacustre .

-Quaternaire :

Représenté par des alluvions et d'éluvions, des limons sableux et des argiles

6- Tectonique :

La région est affectée par deux phases de l'orogénèse : Alpine ancienne et Alpine récente.

-Durant l'ancienne phase, les sédiments pré tertiaires ont subis des déformations intenses à cause d'un réseau dense de plis disjonctifs .

- Durant la phase récente, les dislocations ont été moindres et les pendages sont faibles au niveau des structures principales.

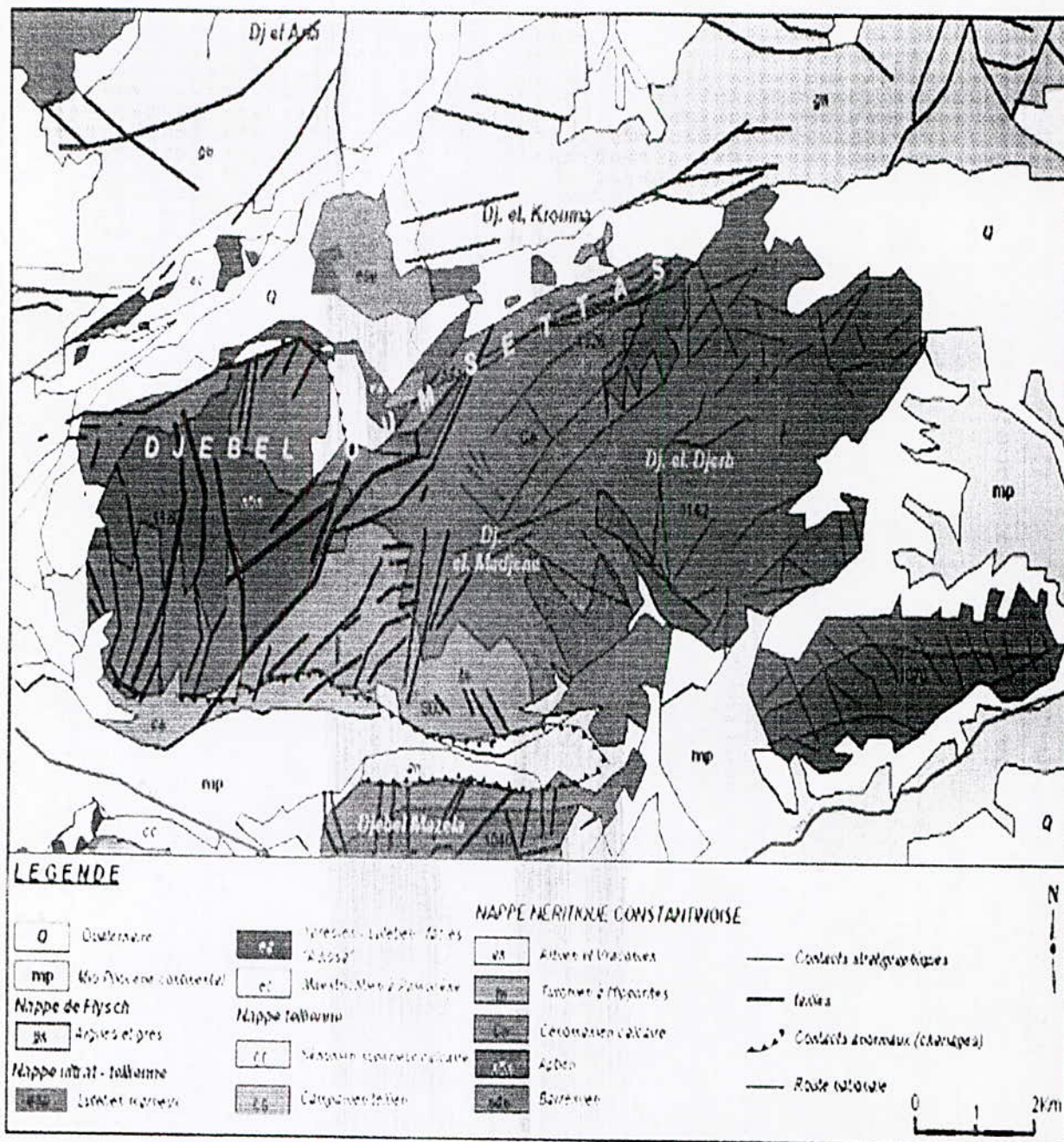
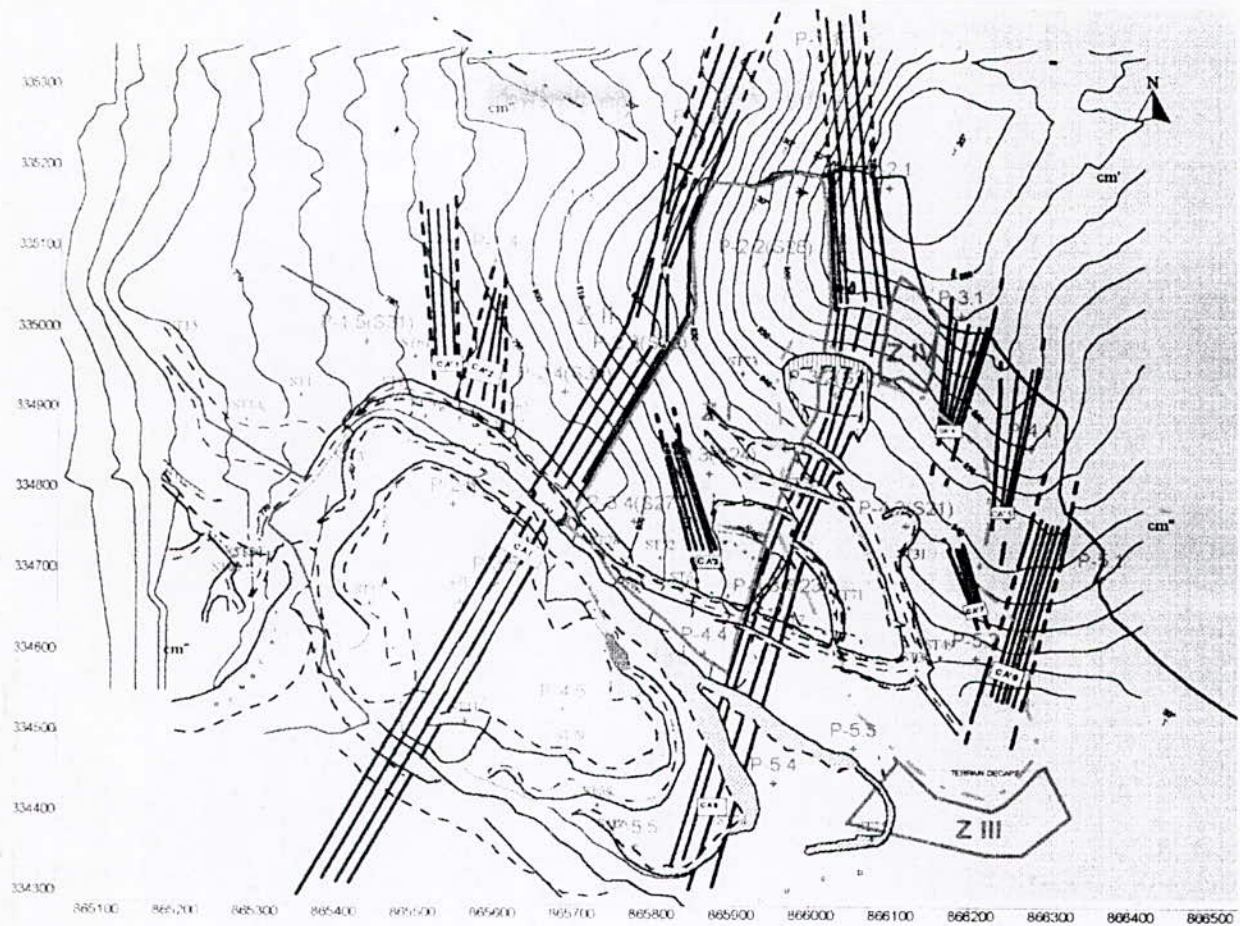


Figure 2 : carte géologique de la région d'EL-Khroub (IN VILA, 1977)



LEGENDE

	CALCAIRES GRIS CLAIRS		CLOTURE GRILLAGEE		ZONE D'ACCIDENTS
	CALCAIRES GRIS "LEGERMENT FONCES"		LIMITE ENTRE cm' ET cm''		FAILLES INTERPRETEES
	CALCAIRES GRIS FONCES.		- . - LIMITE ENTRE cm' ET cm'' INTERPRETEE		X SONDAGES MECANQUES ET GEOPHYSIQUES.
	MARNE		- - - AXE DE PISTE		'SI STATIONS
	TALUS ET FRONT DE TAILLE		— — — COURBES DE NIVEAU		
	BRECHE DE FAILLE				EQUIDISTANCE = 10 m

Figure3 : carte litho structural du gisement d'EL-Khroub
(Rapport final étude structural (ENG))

7- Caractéristiques pétrographiques :

D'après les études de lames minces réalisées, les calcaires étudiés sont massifs à couleur blanche à blanche grisâtre avec une texture micritique.

8- Les réserves de carbonate de calcium :

Réserve de catégorie B (sure) : 13721643 tonnes en carbonate de calcium.

Réserve de catégorie C1 (probable) : 6468735 tonnes en carbonate de calcium

Les réserves globales en catégorie B+C1, répondant aux exigences industrielles pour la production du carbonate de calcium sont de l'ordre :

20 Millions de Tonnes de carbonate de calcium

Chapitre -II- Identification du minerai du gisement d'EL-kbroub

1- Echantillonnage :

- Une mission a été effectuée dans le but de prélever des échantillons à traiter et de reconnaître la zone du gisement d'El-Khroub et l'usine de production de carbonate de calcium.

- Les prélèvements ont été réalisés en trois points de l'usine de production de carbonate de calcium, incluant:
 - Un échantillon à la sortie du silo de (0-2) mm ;

 - Un échantillon du niveau point d'alimentation du broyeur à barre ;

 - Un échantillon provenant de la bande d'alimentation du crible vibrant ;

Le poids total de ces trois échantillons est estimé à 84,5kg.

-l'échantillonnage au laboratoire utilise deux techniques: le quartage manuel et le diviseur à couloires, pour avoir une réduction de l'échantillon provenant de l'usine, jusqu'à obtention des prises suffisantes pour les essais en laboratoire, tout en étant représentatif de tout l'ensemble.

2 - Analyse minéralogique :

L'objectif de l'analyse minéralogique est la détermination des éléments constituant le minerai étudié.

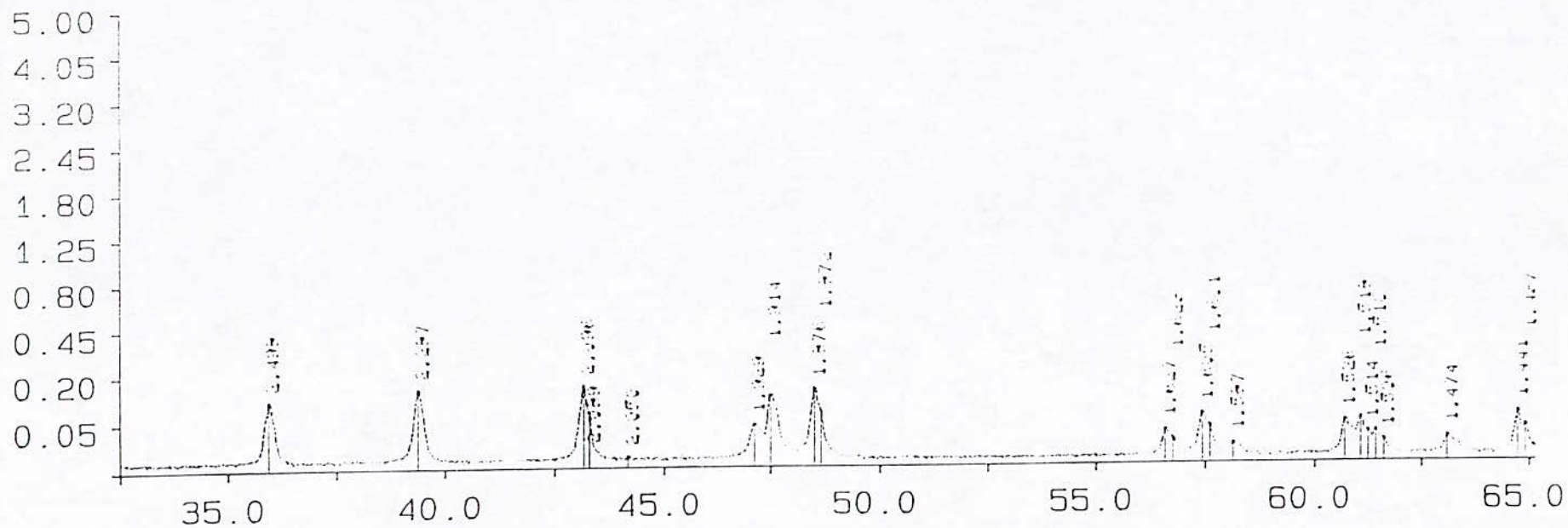
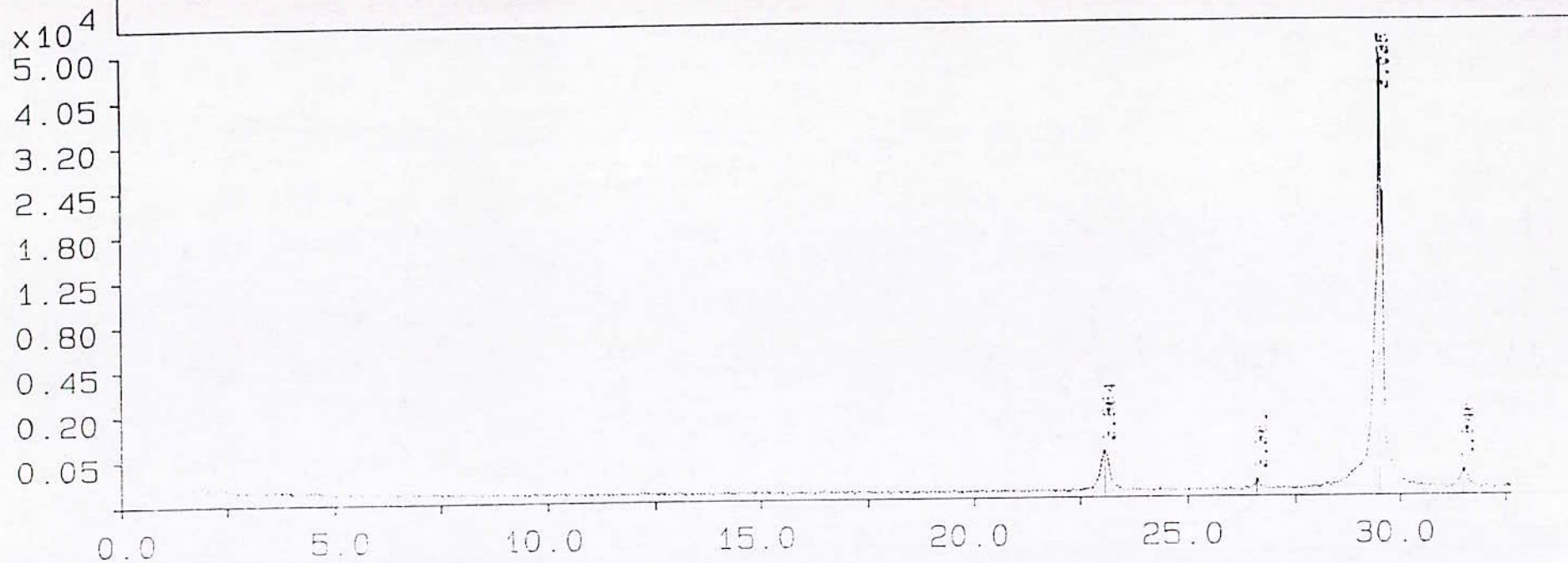
Cette analyse a été faite au niveau de laboratoire de minéralogie de l' ORGM, par la méthode de diffraction aux rayons X (DRX).

L'analyse montre que : la calcite est le seul minéral dominant et n'indique pas d'autres éléments mineurs ; Le résultat apparaît au niveau du graphe dans le graphe (II-1)

Sample: ENG561 File: ENG561.RD

26-JUL-05 15:04

Graph (II-1)



3 - Analyse chimique du tout-venant :

Les analyses chimiques du tout venant, ont été réalisé par absorption atomique ; les résultats obtenus sont reportés sur le tableau ci dessous :

Elément chimique	Teneur
SiO ₂	0,05
Al ₂ O ₃	0,05
Fe ₂ O ₃	0,05
CaO	55,77
MgO	0,65
Na ₂ O	0,05
K ₂ O	0,05
TiO ₂	0,05
MnO	0,01
P ₂ O ₅	0,08
Perte au feu	41,63

Tableau II -1 : résultats des analyses chimiques à l'ORGM

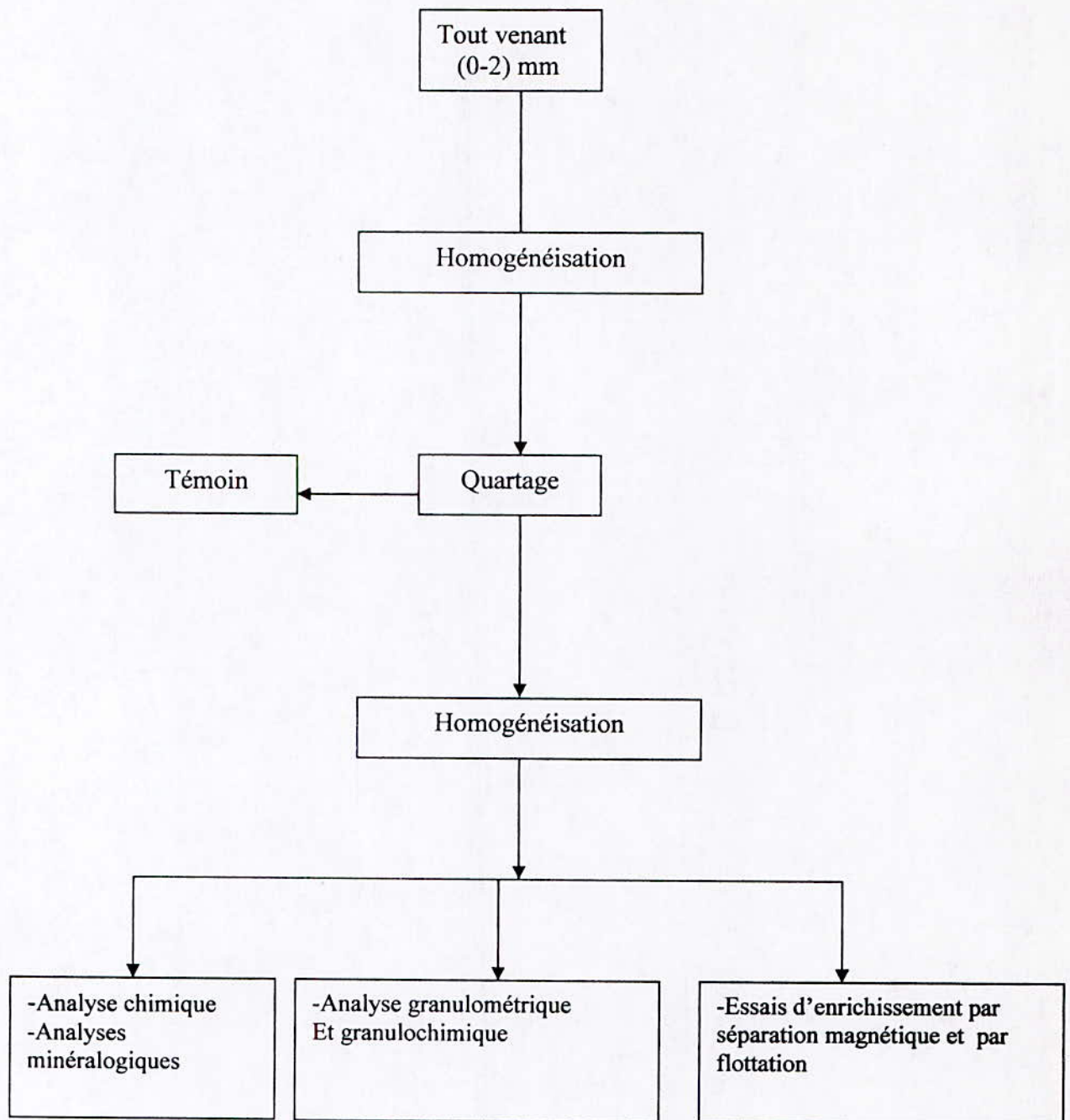


Figure (II-2) : Schémas de répartition du minerai pour essais et analyses

4 - Identification de minerai du gisement d'El-khroub :

4 – 1- Caractéristiques physiques et physico –mécaniques de minerai :

Ces données proviennent du rapport géologique final du projet de poudre de carbonate de calcium (CaCO_3) du gisement d'El-khroub :

- poids volumique	de 2.257 à 2.758	moyenne 2.593
- poids spécifique	de 2.630 à 2.797	moyenne 2.714
- absorption d'eau	de 0.05 à 5.49	moyenne 0.90
- porosité	de 0.8 à 14.1	moyenne 4.5
- los Angeles	de 13.2 à 22	moyenne 15.4
- dureté	3	

4 –2- Analyse granulométrique:

Pour définir l'état granulométrique du minerai, on a prélevé un échantillon de masse connue, suivi d'un tamisage en utilisant une série de tamis (normalisé AFNOR), allant de 0,250mm à 0.04mm.

Le tamisage a été réalisé par voie sèche. On superpose d'abord les tamis par ordre croissant des ouvertures à partir du bas et on transfère la prise d'essai sur le tamis du haut. Secouer les tamis manuellement ou mécaniquement pendant un temps suffisant lequel aura été préalablement établi par essai ou vérifier l'échantillon réel.

Les différentes fractions recueillies sont ensuite pesées et la teneur en oxyde de fer qu'elle contient déterminée.

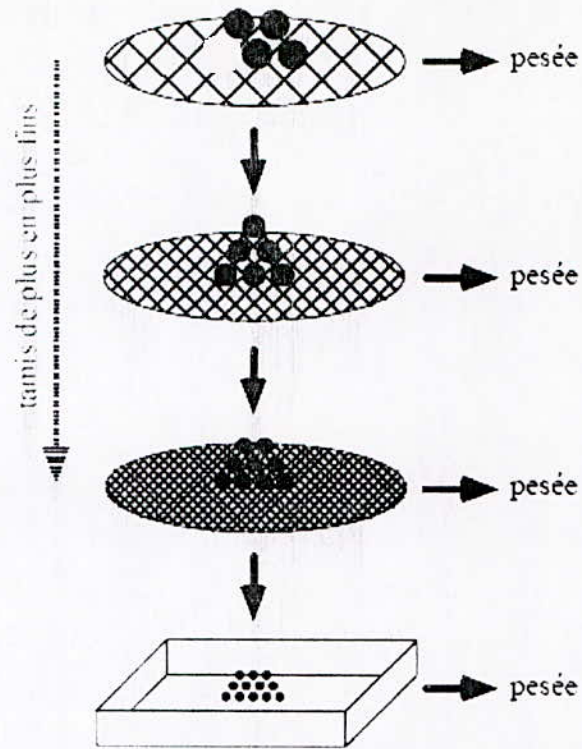


Figure (II-3)

Procédure simplifiée de tamisage à sec

Tableau (II-2) : résultats de la classification granulométrique

Classe granulométrique -mm-	Poids de refus -g-	Poids en %	Refus cumulé -%-	Passant cumulé -%-
[-2, +0,250]	596.24	25.52	25.52	74.48
[-0,250, +0,100]	510.44	21.85	47.37	52.63
[-0,100, +0,04]	563.16	24.10	71.47	28.53
-0,04	666.69	28.53	100.00	--
totale	2336.40	100.00	--	--

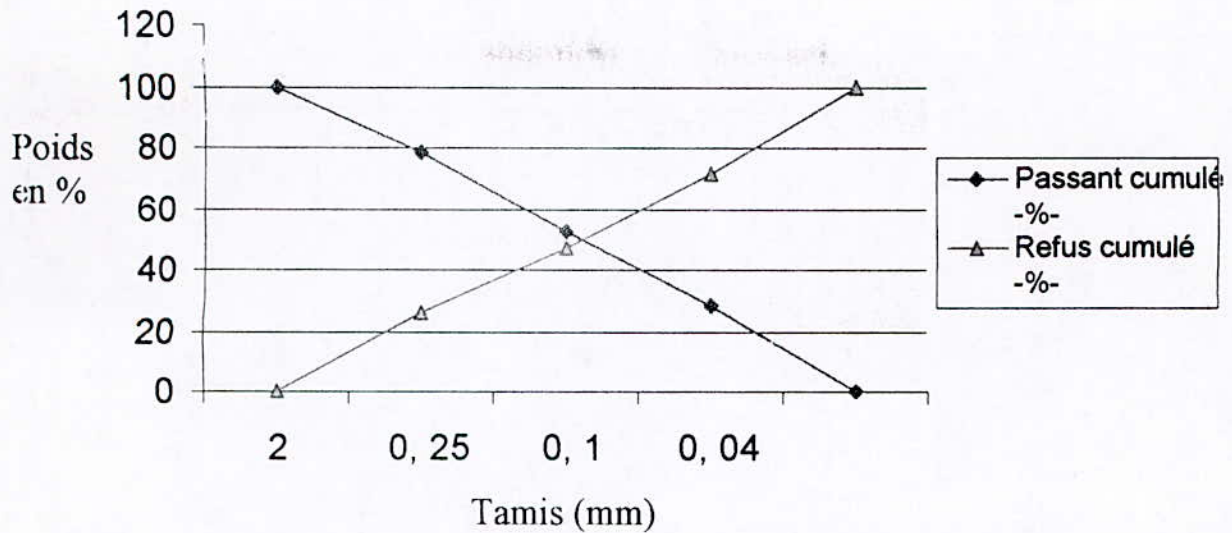


Figure (II -4) : caractéristique granulométrique du minerai de carbonate de calcium

Interprétation :

-la répartition de minerai pour l'échantillon étudié est identique.

Généralement ces résultats montrent, l'abondance des particules ultrafines.

Analyse granulochimique :

L'analyse granulochimique a pour objet de quantifier la substance minérale étudiée et de déterminer sa répartition dans les différentes classes granulométriques. Dans le cas présent, l'analyse chimique des différentes classes granulométriques a porté sur la détermination des teneurs en oxyde de fer.

-Cette analyse s'est faite par absorption atomique [tableau (II-3)] ,dans le laboratoire de l'ORGM

Classe granulométrique -mm-	Poids -g-	Teneur en oxyde de fer
[-2, +0,250]	596.24	0.011
[-0,250, +0,100]	510.44	0.014
[-0,100, +0,04]	563.16	0.011
-0,04	666.69	0.017

Tableau (II-3) : répartitions de l'oxyde de fer dans les différentes classes granulométriques

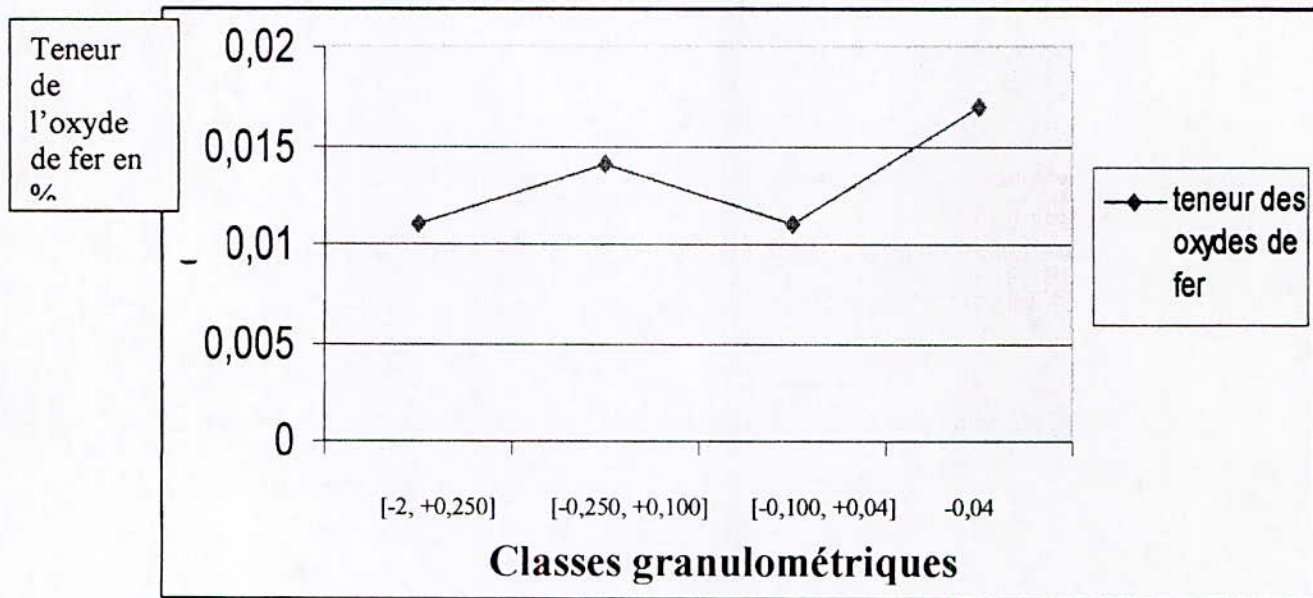


Figure (II-5) : Résultats d'analyse granulochimique en oxyde de fer du minerai de carbonate de calcium

Conclusion :

D'après les résultats obtenus dans le tableau (II-3) nous pouvons constaté que l'oxyde de fer est presque uniformément réparti dans tout les classes , démontrant qu'il est finement disséminé dans le minerai.

Chapitre -III- Etude comparative

Étude comparative entre la qualité du produit broyé au laboratoire de l'ORGM et celui de l'usine d'El-khroub :

-le but de cette étude se résumé en considérant deux points essentiels :

- 1- rechercher s'il existe une différence entre la qualité de produits obtenus au laboratoire de l'ORGM et au niveau de l'usine d'El-khroub.
- 2- étudier l'impact d'un changement de type de broyeur sur le degrés de blancheur de produits obtenus.

- Cette étude expérimente a été réalisée à l'aide d'un broyeur à boulets (à agate) par voie sèche. Le produit broyé a été classé et préparé pour analyser l'indice de blancheur d'un échantillon prélevé.
- Les indices de blancheur des échantillons analysés sont comparés avec ceux obtenus au niveau de l'usine d'EL-khroub.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Classe (mm)	Degré de La blancheur	
	ORGM	EL-KHROUB
UF10 (-0.04)	87	87-88
UF5 (-0.02)	88	88

Tableau III-1 : résultats des analyses de la blancheur du produit broyé

- le tableau ci-dessus montre que la blancheur du produit broyé au laboratoire de l'ORGM ne diffère pas de celle de l'unité d'EL-Khroub.

Chapitre -IV- Essais d'enrichissement

.Conditions particuliers pour les essais d'enrichissement:[7]

L'application des différentes méthodes minéralurgiques adaptés dans notre projet exige certaines conditions particulières propres à chacune d'entre elles. Le tableau ci dessous résume ces conditions.

Propriété	Séparation magnétique	Flottation
Diamètre des particules	> 75 μm	80% < 74 μm
Différence de masse volumique	non applicable	non applicable
Degré de libération	moyen	moyen
Propriétés de surface	non applicable	élevée
Propriétés ferromagnétiques	élevée	non applicable

Tableau (IV-1) : exigences aux méthodes d'enrichissement

1- La séparation électromagnétique :

1-1 Introduction : [7]

La séparation électromagnétique se produit par entraînement des matériaux , présentant une susceptibilité, au travers d'un champ magnétique.

La grosseur et la masse volumique des particules ou morceaux , devant être sujets à une séparation, influencent le traitement. La séparation des grosses particules denses requiert un champ magnétique plus intense que la séparation des petites particules légères. Il est essentiel de souligner que l'efficacité du procédé dépend du degré de libération ou de la pureté des matériaux à séparer.

1-2 Les paramètres fonctionnels sont :

- L'intensité de courant électrique ;
- La vitesse du rotor ;
- Le débit d'alimentation ;
- La dimension de l'entrefer.

1-3 Les conditions opératoires :

Les essais de séparation électromagnétique ont été réalisés au laboratoire de l'ORGM. L'appareil utilisé est de type « CAPRCO » (USA) ; les caractéristiques techniques de cet appareil sont les suivantes :

- Vitesse de rotor : 30 tr/mn ;
- Vibration : 30 vibrations /mn ;
- Intensité maximale : 2,5 A.

Le mode d'utilisation de cette machine consiste à être alimentée en minerai par le biais d'une trémie, laissant s'écouler le tout-venant sur une bande transporteuse, sous forme de minces couches pour assurer une bonne séparation des grains magnétiques.

A la fin de la séparation de chaque classe granulométrique, nous avons analysé toutes les fractions pour connaître le taux d'élimination des impuretés en fer.

Les résultats des essais de séparation apparaissent dans le tableau suivant :

Classes (mm)	Fraction non magnétique		Fraction magnétique	
	Poids	%	Poids	%
[-2, +0,250]	249.92	99.96	0.08	0.032
[-0,250, +0,100]	249.98	99.99	0.02	0.008
[-0,100, +0,04]	250	100	250	00.00
-0,04	250	100	250	00.00

Tableau (IV- 2): Résultats des essais de séparation électromagnétique

Résultats des analyses chimiques pour la séparation électromagnétique :

Classes (mm)	Fraction initiale		Fraction non magnétique		
	Poids	Teneur en Fe_2O_3	Poids	%	Teneur en Fe_2O_3
[-2, +0,250]	250	0.011	249.92	99.96	0.007
[-0,250, +0,100]	250	0.014	249.98	99.99	0.01
[-0,100, +0,04]	250	0.011	250	100	0.011
-0,04	250	0.017	250	100	0.017

Tableau (IV-3): Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques

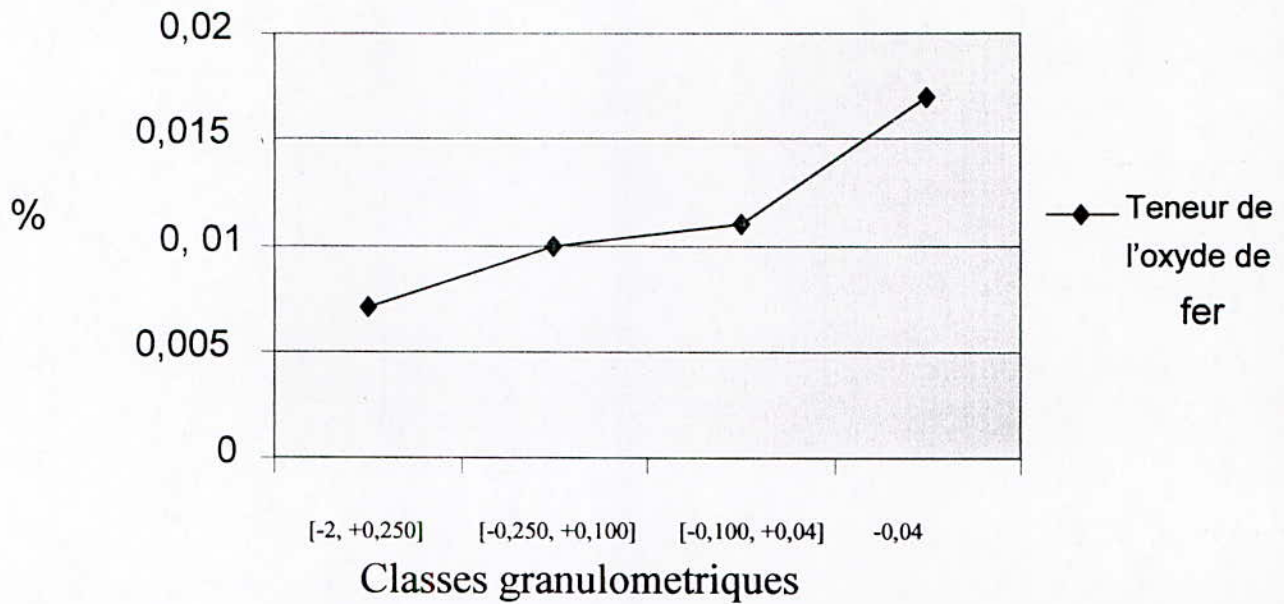


Figure (IV-1) : Résultats des analyses de Fe_2O_3 pour les fractions non magnétiques

L'objet de cette étude consiste à montrer l'influence de la séparation magnétique sur le degré de blancheur de la poudre de carbonate de calcium.

Le deux fractions non magnétiques [-2, +0,250] et [-0,250, +0,100] sont broyées dans un broyeur à boulets (à agate). Pour assurer la libération de fines inférieures à 0.100mm, la durée de rétention du broyage varie de 10 à 15mn.

Ensuite, les produits sont classés en F15 et UF10

Les résultats sont représentés dans le tableau ci dessous

Classes (mm)	Indice de blancheur (fraction non magnétique)	
	F15	UF10
[-2, +0,250]	85.39	86.01
[-0,250, +0,100]	84.60	85.85

Tableau (IV-4) : résultats des analyses de la blancheur pour les fractions non magnétique

CONCLUSION:

En se référant aux résultats des essais réalisés , on peut conclure que:

1- pour les fractions non magnétiques [-2, +0,250], [-0,250, +0,100]

Le taux d'élimination de l'oxyde est négligeable.

2- cependant les fractions [-0,100, +0,04] mm et [-0,04] mm la séparation est nulle, ce qui peut expliquer par l'effet de la granulométrie (dans le tableau (IV-1) : les dimensions des Fines doivent être $> 75 \mu\text{m}$).

3- l'indice de blancheur pour les produits broyés et classés n'a pu être amélioré et ne diffère pas de celui de l'unité d'EL-khroub.

Essais de flottation : [8] ; [4]

Introduction :

Le procédé de concentration des minerais par flottation est utilisé depuis plusieurs décennies. A ce jour. Il demeure un des procédés les plus utilisés, et ce à l'échelle mondiale.

Il est aujourd'hui reconnu par les auteurs que la récupération du minéral de valeur par le procédé de flottation est optimale pour les tailles intermédiaires de particules. Dans le cas des fines particules et des particules grossières, on observe des baisses significatives de récupération. On retrouve habituellement le type de courbe présentée à la figure n°

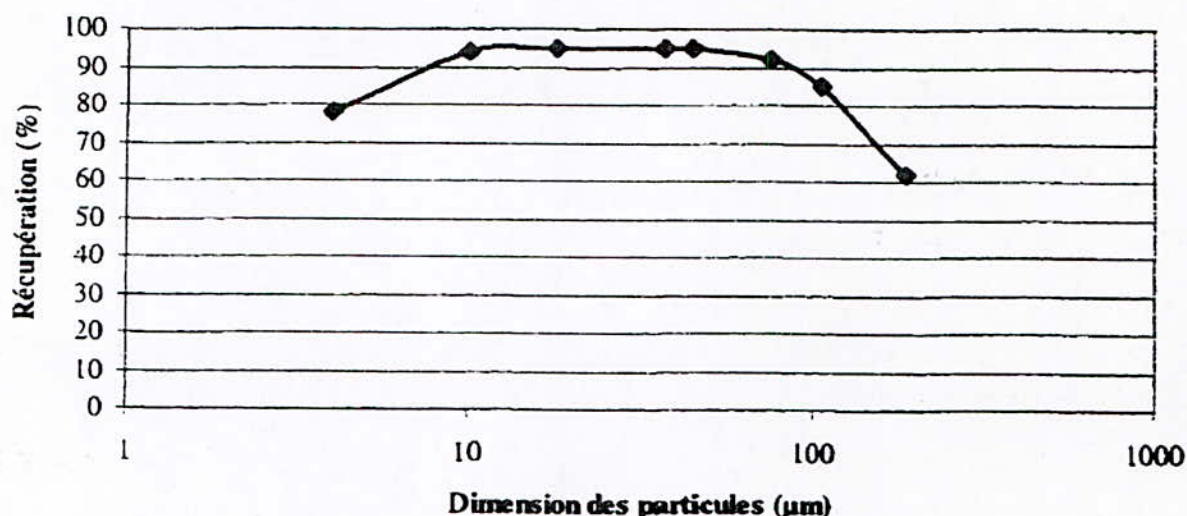


Figure (IV-2) : Variation de la récupération en fonction de la taille des particules en flottation

Cette figure montre une chute conséquente dans la récupération (15%) pour les particules fines (de 10 microns). On note également une réduction significative de la récupération au niveau des particules grossières ($d > 100$ microns)

La flottation a été réalisée dans une cellule de type « DENVER » les conditions opératoires étaient les suivantes :

- vitesse de rotation est de 1000 tr/mn ;
- rapport S/l = 66% ;
- prise de l'échantillon : 1kg broyé à 80% inférieur à 74 microns.

La flottation pratiquée lors de nos essais est une flottation sélective (inverse)

Les réactifs utilisés pour la flottation :

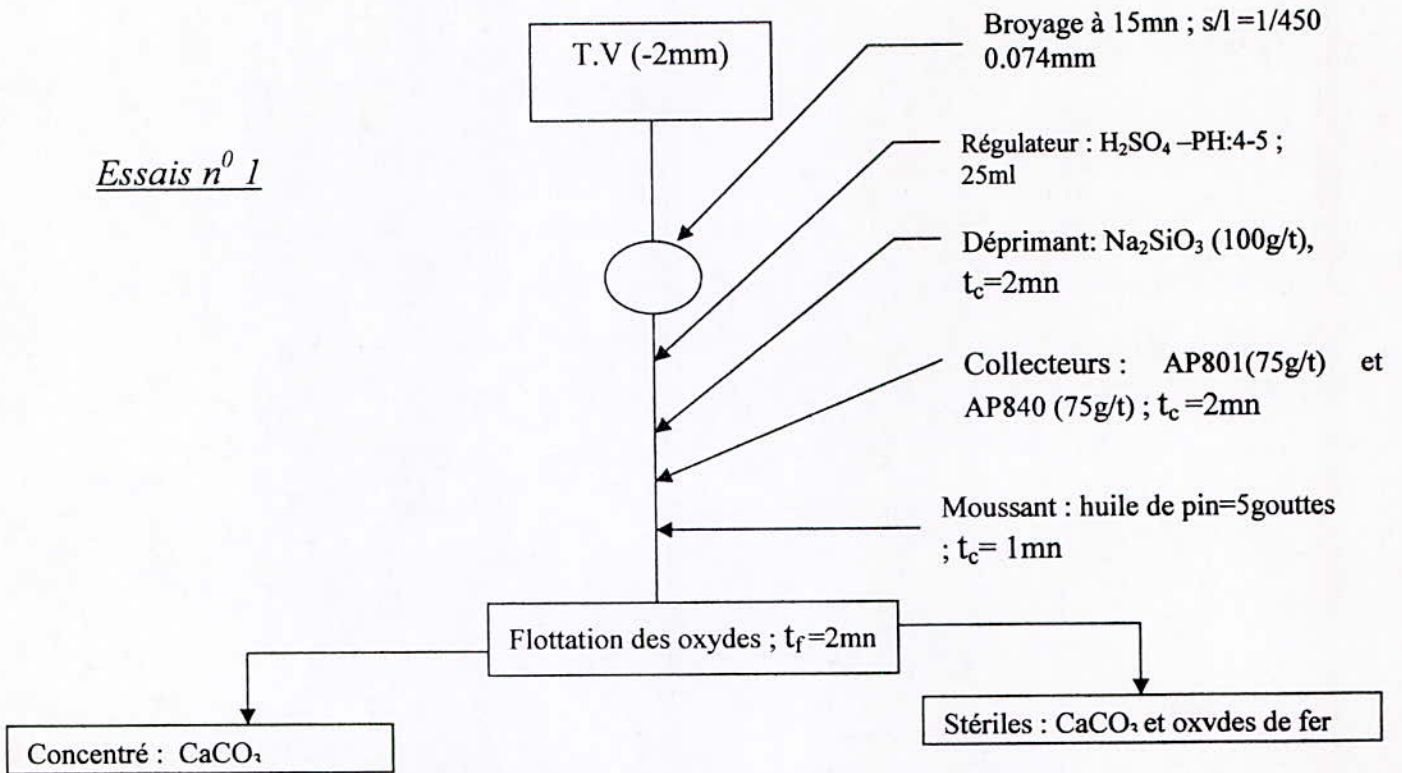
- Comme régulateur de milieu : acide sulfurique H_2SO_4 ;
- Le déprimant : silicate de sodium Na_2SiO_3 ;
- Les collecteurs utilisés industriellement pour la flottation de ces minéraux appartiennent aux familles suivantes : Les acides alkyl carboxyliques (acides gras) ; Les alkylsulfonates; Les alkyl sulfates ; Les alkylhydroxamates; Les amines et les sels d'amines. les collecteurs utilisés pour nos essais sont AP801 et AP840 , et pour assurer des bonnes conditions de flottation , la concentration du collecteur doit rester suffisamment basse.
- Activant : le PH est considéré comme agent activant pour les oxydes.
- Le moussant : huile de pin.

Nous avons réalisé cinq essais en variant la durée de conditionnement, et la consommation des réactifs.

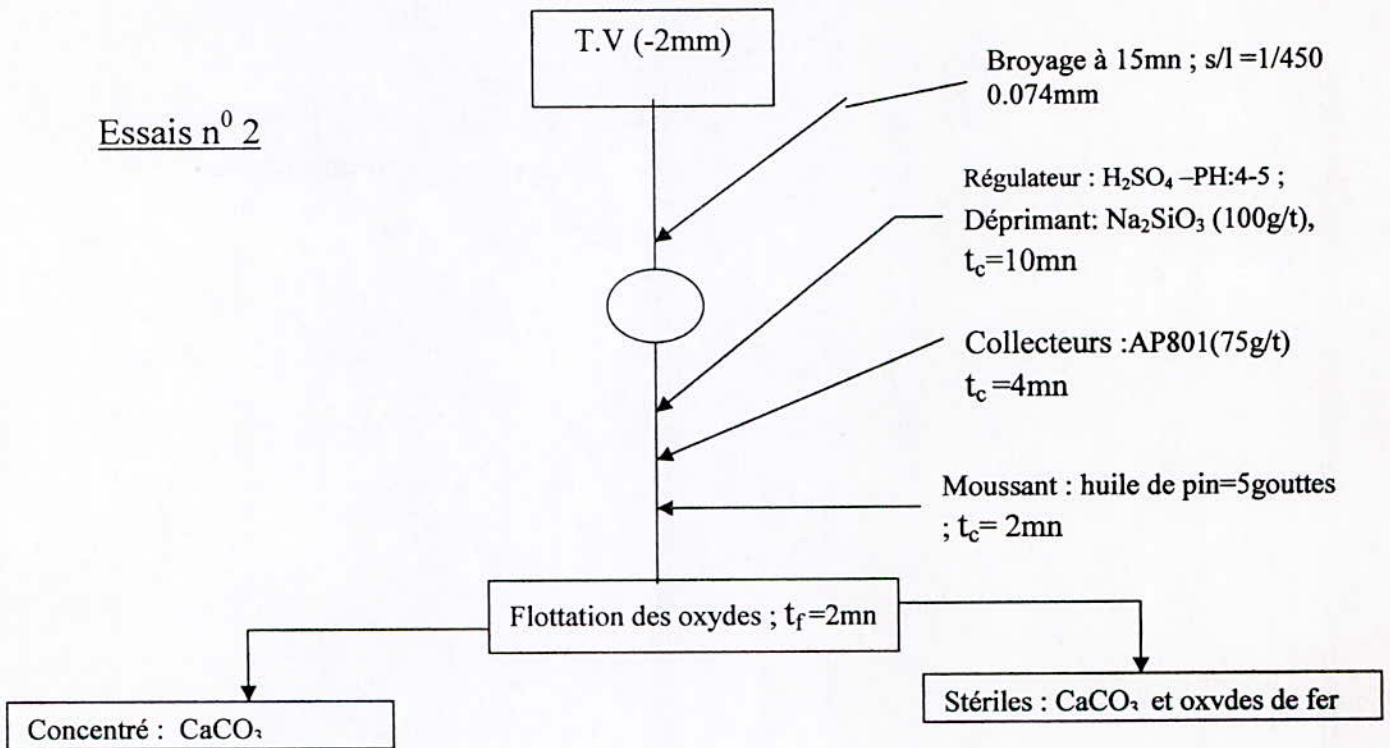
Les schémas de flottation montrent bien les variations de consommation de réactifs et le temps de conditionnement.

- après la flottation, nous avons filtré et séché les concentrés et les rejets, puis nous avons tamisé le concentré de chaque essai sur deux tamis : le (0.04 mm), et le (0.02 mm) , pour mesurer les indices de blancheur après la flottation.
- les résultats des essais de flottation et des analyses chimiques et de la blancheur sont représentés respectivement dans les tableaux : (IV-5) ; (IV-6) ; (IV-7) page :46

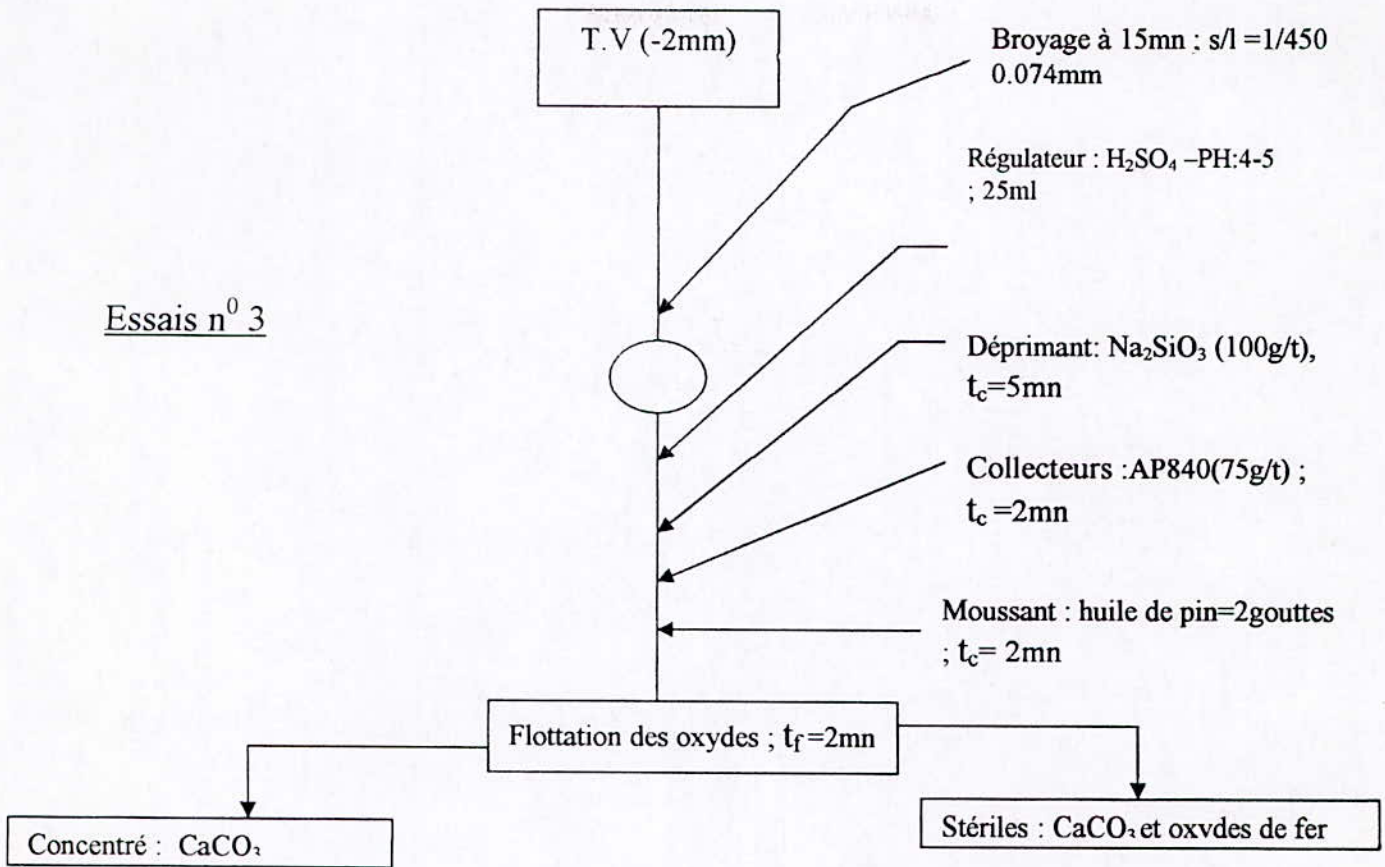
Essais n° 1



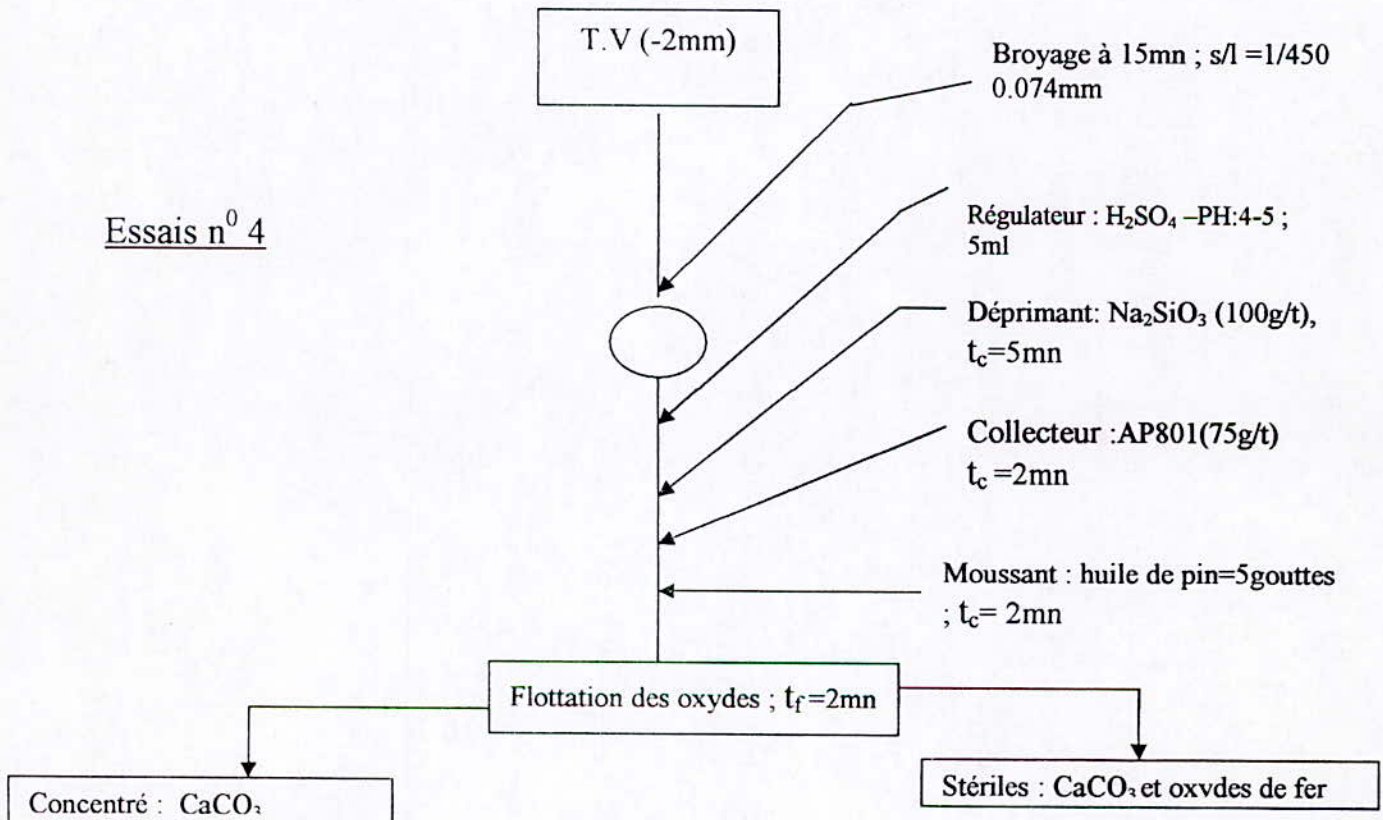
Essais n° 2



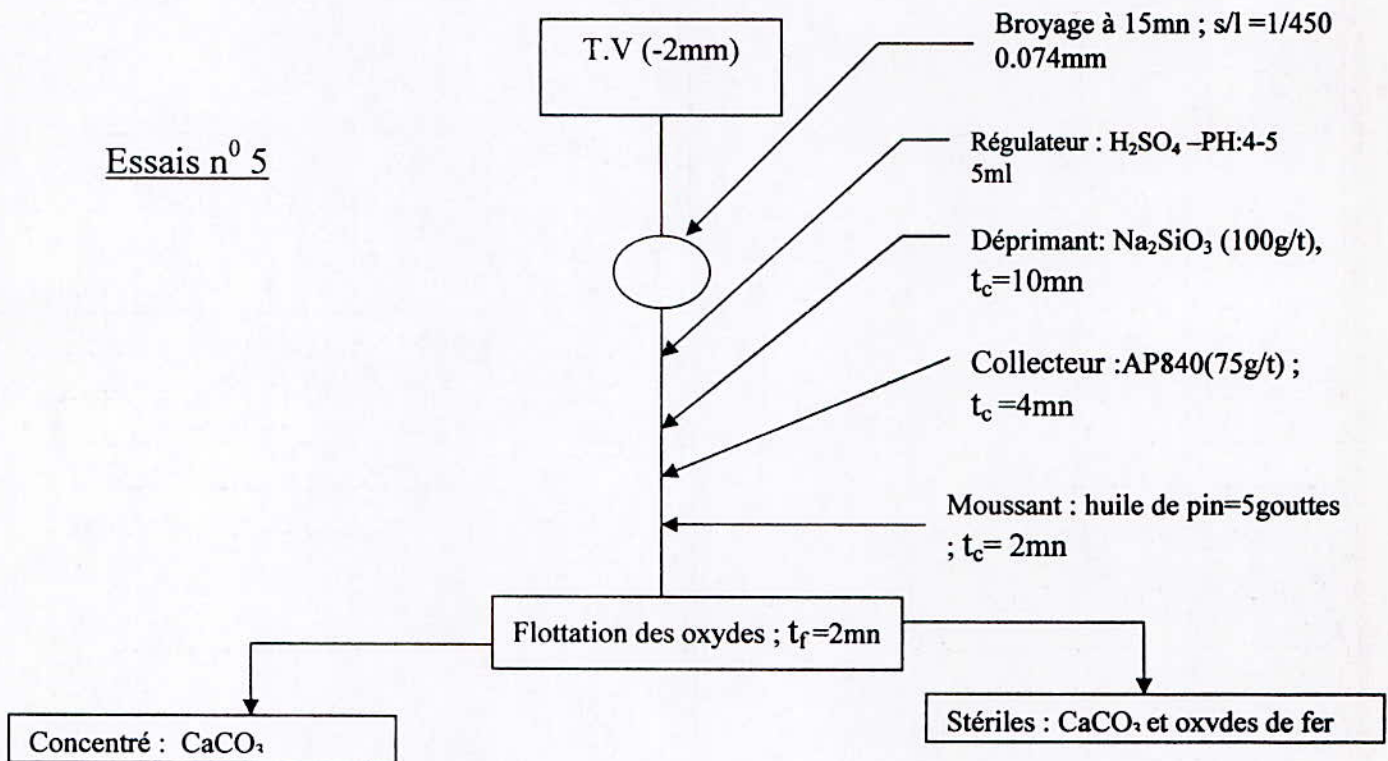
Essais n° 3



Essais n° 4



Essais n° 5



Les résultats des essais de flottation et des analyses chimiques et de la blancheur :

Essais n ⁰	Poids initial (g)	Concentré de flottation		Rejet de flottation	
		Poids (g)	%	Poids (g)	%
01	1000	851	85.1	149	14.9
02	1000	904.5	90.45	95.5	9.55
03	1000	954.3	95.43	45.7	4.57
04	1000	952.7	95.27	47.3	4.73
05	1000	913	91.3	87	8.7

Tableau (IV-5) : résultats des essais d'enrichissement par flottation

Essais n ⁰	Teneur des oxydes de fer (initiale)	Concentré de flottation		
		Poids (g) %	%	Teneur des oxydes de fer
01	0.05	851	85.1	0.017
02		904.5	90.45	0.017
03		954.3	95.43	0.014
04		952.7	95.27	0.014
05		913	91.3	0.014

Tableau (IV-6): résultats des analyses chimiques des concentrés de flottation

Essais N ⁰	indice de blancheur avant la flottation (UF10 (-0.04) mm)	indice de blancheur après la flottation (UF10 (-0.04) mm)
01	87	80.97
02		82.96
03		83.47
04		82.03
05		82.38
Essais N ⁰	indice de blancheur avant la flottation (UF5 (-0.02) mm)	indice de blancheur après la flottation (UF5 (-0.02) mm)
01	88	80.91
02		82.03
03		82.95
04		81.89
05		82.34

Tableau (IV-7): les valeurs de la blancheur après la flottation

CONCLUSION:

Les résultats des essais de flottation, les analyses chimiques et les mesures des degrés de blancheur montrent que :

1- l'élimination de l'oxyde de fer est presque équivalente pour toutes les classes

2- l'indice de blancheur a diminué fortement après les essais de flottation, ce qui signifie que la flottation présente un aspect négatif.

3- le facteur principal de la dégradation de la blancheur provient de la coloration foncée des réactifs de flottation utilisés :

- Les collecteurs [AP801 et AP840] de coloris presque noirâtre ;
- Le régulateur [H₂SO₄] a un coloris orangéâtre.

4- pour les classes de produits ultrafins [UF5], leur blancheur est inférieure à celles des classes de [UF10] .

Il ressort donc que le choix des réactifs retenus, dans cette étude ne convient pas pour améliorer le degré de blancheur.

Comme recommandation, il faudrait une étude plus poussée sur le choix des réactifs pour émettre un avis définitif.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but de ce travail consistait à pouvoir obtenir d'un produit très blanc, requis par son utilisation dans certaines branches de l'industrie :(peinture, papier, pharmacie).

Nous avons, pour cette premier tentative, sélectionné deux produits ultrafins : UF5 ; UF10 , et deux méthodes de valorisation la séparation électromagnétique et la flottation. Vu les dimensions de tranches choisis UF5 et UF10 , qui sont respectivement (-0.02mm ,+0) (-0.04 mm, +0) , la séparation électromagnétique s'avère impossible.

Quant à la flottation , les réactifs utilisés AP801 et AP840 comme collecteurs de couleur noire H_2SO_4 comme régulateur de couleur orange .

Les résultats obtenus sont négatifs , car les concentrés obtenus de couleur moins blanche que le produit utilisé.

Nous avons conclu que cette diminution de blancheur est due à la couleur des réactifs utilisés.

Suggestion :

- Afin d'appliquer un procédé de séparation magnétique, il est recommandé de modifier le schémas de préparation mécanique existant, introduire un procédé de séparation magnétique avant le broyage fin et ultrafin.
- Utiliser d'autres réactifs incolores, compatibles avec le type de minerai.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Mémento de mines 1999(aide mémoire d'exploitation)
- 2- Mémento de mines 1998(aide mémoire d'exploitation)
- 3- Technique de l'industrie minérale décembre 2004
- 4- M. HORIMEK :
Contribution à la valorisation de la felsite d'Ain Barbar (Annaba) et de la Pegmatite d'Abouda-Bouada (Tizi-Ouzou), par les procédés de séparation électromagnétique et flottation. PFE, ENP, 2002
- 5-M.GHAZALI :
Etude d'enrichissement par flottation d'un minerai polymétallique de plomb et de zinc « gisement de Guergour ».PFE ,ENP,1995.
- 6- N. BOUMEZOUED, H.F.GUEZLANE:
Etude qualitative du gisement d'EL-khroub. PFE, ENP, 2003
- 7- A. Gosselin, D. Blackburn, M. Bergeron .
Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques. Document préparé pour la :
Section Eco innovation technologique Programme de développement et de démonstration technologiques.Direction de la Protection de l'Environnement
Environnement Canada. .Sainte-Foy, Mars, 1999.
- 8- D. Pelletier :
Étude de la problématique de flottation des fines particules.these de doctorat.
Département de mines et métallurgie, faculté des sciences et génie Université
de Laval .Mai 1999.
- 9- A.ALIOUAT :
Projet poudre de CaCO₃ EL-KHROUB.rapport géologique final. ENG. (1991).
- 10- DREG.1970 Agrégat de Constantine.gisement El-khroub.rapport géologique final
recherche détaillées.

11- M. OULD HAMOU :

Cours de traitement de minerais .2003-2004

12- D. QUALIMAPA

Les sels de calcium et de magnésium : quelle place dans l'agro-alimentaire ?

. Année Universitaire 2001 -2002

13- Encyclopédie Encarta. 2005

SITES WEB :

14- <http://www.sfc.fr/donnees/mine/caco/textcaco.htm>

15- <http://pantheon.chez.tiscali.fr/ethymo.htm>

16- <http://www.minerals.net/mineral.htm>

17- <http://perso.wanadoo.fr/smart2000/index.htm>

Annexe

ANNEXE (I)

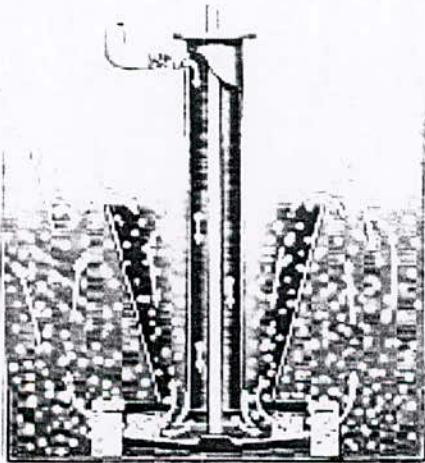
Catégorie :	Séparation solide-solide	
Sous-catégorie :	Flottation	
Fonctionne en :	Batch	
Enrichissement ou purification de mélanges solides		
<i>Denomination</i>		
MACHINE DE FLOTTATION DE LABORATOIRE DENVER		
Principe fonctionnel :	Séparation par processus physico-chimique	
Matériaux :	Solides divers	
Capacité :	0.25 à 2.0 kg	Remarques :
Input :	Solides mixtes	La consommation et la programmation de l'ajout des réactifs sont primordiales.
Output :	Concentrés - Résidus	
Puissance installée (kW) :	0.5	
	<p>La flottation consiste en une séparation des particules sur base de leurs propriétés physico-chimiques de surface. La séparation s'appuie sur un caractère hydrophobe le plus souvent artificiellement conféré à une famille de particules par l'adsorption en surface de molécules hydrophobes. Suite à la création de bulles de gaz dans la pulpe en suspension, par exemple par injection d'air, les particules (rendues) hydrophobes sont collectées par la phase gazeuse. En conséquence, et si la dimension de la bulle le permet, les particules collectées lèvent au sein de la pulpe pour être concentrées dans une mousse surnageante en surface. La mousse peut ensuite être récoltée, soit par raclage, soit simplement par débordement.</p> <p>Les paramètres opératoires sont:</p> <ul style="list-style-type: none"> > le conditionnement de la pulpe (durée) ; > les réactifs améliorant la sélectivité de la séparation : activants, déprimants ; > le réactif spécifique au solide à récupérer par flottation: collecteur ; > le réactif structurant de la mousse ; > la consommation en ces divers réactifs se caractérise en grammes par tonne de matière. 	

Fig 01 : la cellule DENVER

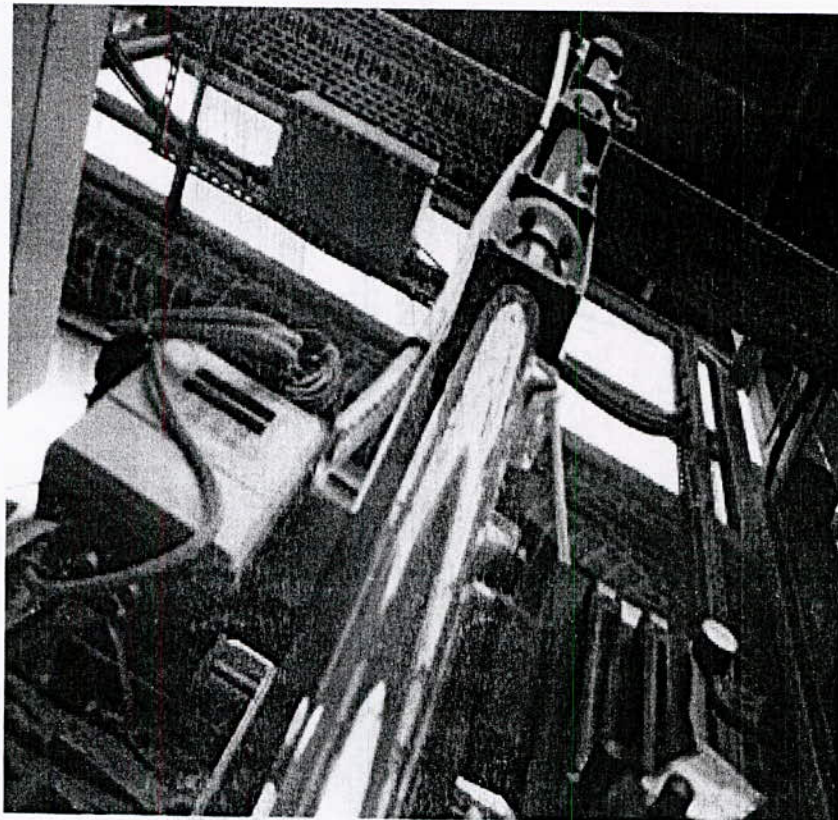
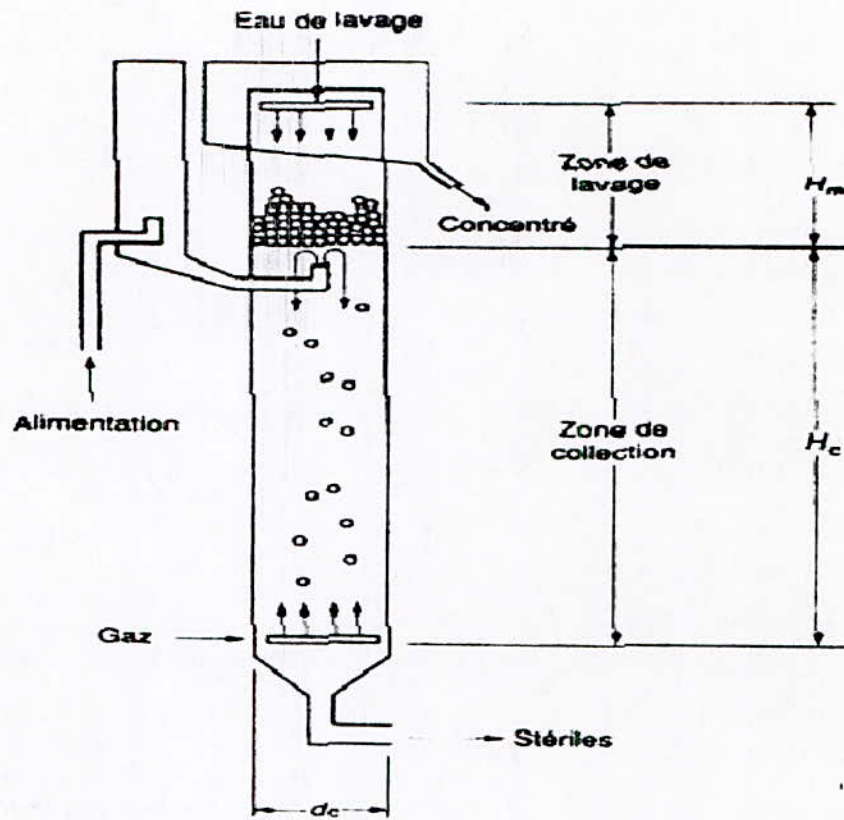


Fig 02 : colonne de flottation

ANNEXE (II)

Méthode d'analyse chimique :

II- Absorption atomique :

La méthode d'absorption atomique est très importante dans le domaine industriel pour résoudre les problèmes d'analyse chimiques, elle est rapide et efficace.

II-1) Principe de l'analyse par absorption :

Des substance sous forme de vapeur atomique ont la propriété d'absorber des radiations caractéristiques , identiques à celles qu'elles peuvent émettre .

Les radiations absorbées sont proportionnelles au nombre d'atomes présents dans la flamme.

La grandeur mesurant l'atténuation de ce faisceau monochromatique est appelée densité optique (ou absorbance). La densité optique est donc fonction de la concentration de l'élément analysé.

II-2) Constitution de l'appareil :

L'appareil est constitué de trois parties essentielles :

- 1) partie émission.
- 2) partie absorption.
- 3) partie détection.

II-2-1) partie émission :

C'est souvent une lampe à cathode creuse , dont la nature varie suivant l'élément à doser ; elle est constituée d'une cathode cylindrique recouverte de l'élément recherché (exemple : or , argent , hématite,..) d'une tige métallique , appelée anode et d'un gaz de remplissage (gaz rare, neon ou argon (inerte : dernière couche est saturée)).

Fonctionnement de la lampe : le passage du courant (chaque élément a sa propre intensité) provoque le départ de la surface de la cathode des atomes métalliques qui deviennent excités après collision avec les ions de néons ou d'argon , et émette la radiation caractéristique dans la direction de la flamme par retour au niveau fondamental.

II-2-2) Partie absorption (dispositif brûleur atomiseur) :

L'échantillon (en solution) aspiré à travers un tube capillaire très fin par de l'air, carburant et le comburant sont mélangés dans une chambre avant le passage dans la tête de brûleur. L'atomiseur permet de pulvériser la mixture contenant à doser dans la flamme qui dissocie les molécules en atomes libres.

II-2-3) Partie détection :

L'énergie lumineuse est alors transformée en tension électrique proportionnelle à l'énergie incidente qui sera amplifiée avant d'être envoyée sur un cadran de lecture ou sera enregistrée automatiquement.

II-3) Mise en solution de minerai :

Une quantité de minerai de 10 g est attaquée par 50 ml d'eau régale (3 volumes de HCl et 1 volume de HNO_3), en chauffant sur une plaque chauffante, jusqu'à l'obtention d'une couche humide, l'opération est répétée une deuxième fois par 20ml d'eau régale, le résidu est repris par 10ml d'acide chlorhydrique. La solution obtenue est filtrée puis analysée par absorption atomique.

II-4) Courbe d'étalonnage :

La courbe d'étalonnage exprime la densité optique en fonction de la concentration.

Une mesure de la densité optique d'un ensemble de solutions de l'élément à doser dont les concentrations sont variables, dispersées et connues.

Pour tracer cette courbe, nous avons préparé quatre solutions étalons, dont les concentrations sont connues, et par suite nous avons tracé la courbe d'étalonnage en portant en abscisse les concentrations, et en coordonnées les densités optiques correspondantes, les points expérimentaux sont légèrement dispersés.

A partir de cette courbe et par extrapolation, nous avons déterminé les concentrations de l'élément à analyser en connaissant sa densité optique donnée par le spectrophotomètre.

ملخص :

الهدف من هذا المشروع هو تحسين نوعية فحمت الكالسيوم و ذلك برفع درجة بياضها و لهذا الغرض قمنا بجلب عينات من وحدة الإنتاج بقسنطينة التابعة للمؤسسة الوطنية للحصى، ولمعالجتها قمنا باستخدام هاتين الطريقتين:

1- الفصل الكهرو مغناطيسي

2-الطفو

لكن النتائج المحصل عليها باستخدام هاتين الطريقتين لم تكن مرضية

الكلمات المفتاح

فحمت الكالسيوم، أكسيد الحديد، الفصل الكهرومغناطيسي، الطفو، درجة البياض.

Summary:

In this project, we are trying, on the proposal of the ENG Company, to improve the quality and rise the bleaching index (withness) of the calcium carbonate.

We use two methods of separation:

-Magnetic separation and froth flotation.

Regarding to the results, none of the two methods is suitable.

Key words: calcium carbonate, iron oxide, magnetic separation, froth flotation, bleaching index

Résumé:

Dans le cadre de ce projet, nous avons essayé à la demande de l' ENG, d'améliorer la qualité de l'indice de blancheur du carbonate de calcium.

Nous avons utilisé deux méthodes de séparation :

- La séparation magnétique et la flottation.

Au vu des résultats obtenus, aucune des deux méthodes n'a pu être retenue.

Les mots clés : carbonate de calcium, oxyde de fer, séparation magnétique, flottation, indice de blancheur