

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Génie Minier

A. Saada
ex

Mémoire

En vue d'obtenir le diplôme
D'ingénieur d'état en Mines

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

THEME

ETUDE D'ORIENTATION
SUR LA PREPARATION
MECANIQUE DU FELDSPATH
POTASSIQUE D'AIN BARBAR
(W.ANNABA)

Proposé et dirigé par :

Mr A.SAADA
Mr M.OULD HAMMOU

Préparé par :

K. BOUROUAIAH

PROMOTION 1998

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier vivement mes promoteurs A.SAADA ; M.OULD HAMMOU et je profite de l'occasion qui m'est offerte pour eux exprimer toute ma gratitude pour ses apports scientifiques précieux, ses dévouements et pour les conseils avisés et l'encouragement constant qu'ils n'ont cessé de me prodiguer tout au long de ce travail.

Mes remerciements les plus sincères sont adressés à Messieurs les membres de jury, qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Mes remerciements sont adressés à tout les enseignants et travailleurs du département Génie Minier.

Je remercie chaleureusement M.A. Zeroual, K. Laouni et T. Kada , qui m'ont apporté une grande aide lors de la saisie et la mise au point de ce mémoire.

SOMMAIRE

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

LA PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : Théorie de la fragmentation

I-1. Introduction :.....	3
I.2. Finalités de la fragmentation.....	3
I-3: Les lois énergétiques de la fragmentation.....	3
I-4: Caractérisation des produits de la fragmentation.....	5

Chapitre II : Stades de la fragmentation

II.1. Introduction.....	8
II.2. le concassage :	
II.2.1. Définition.....	8
II.2.2. Les appareils de concassage.....	9
II.2.3. le choix des concasseurs.....	10
II.2.4. les schémas de concassage.....	11
II.3. le broyage	
II.3.1. Définition.....	15
II.3.2. les appareils de broyage.....	15
II.3.3 les schémas de broyage.....	15
II.4. l'aspect économique de la fragmentation.....	19

Chapitre III : La classification

III.1. Définition.....	25
III.2. Types de classification.....	25
A. La classification directe.....	25
B. La classification indirecte.....	26
III.3. Les appareils de classification.....	27
A. Les classificateurs pneumatiques.....	28
B. Les classificateurs hydrauliques.....	28

LA PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre I : Caractérisation du minerai de feldspaths potassique d'AIN BARBAR

I.1. Localisation et géologie du gisement.....	31
I.2. Analyse minéralogique et pétrographique.....	32
I.3. Analyse chimique.....	32
I.4. Les propriétés physiques de l'échantillon.....	32
I.5. L'échantillonnage.....	33
I.6. Analyse granulométrique.....	34

Chapitre II : Etude de concassage

II.1. Mode opératoire.....	37
II.2. Concassage à mâchoires.....	38
II.3. Concassage à cylindres.....	40
II.4. Conclusion.....	41

Chapitre III : Etude de broyage

III.1. Mode opératoire.....	42
III.2. Broyage à sec.....	43
III.3. Broyage humide.....	48
III.4. conclusion.....	50

Conclusion générale

Annexes

Bibliographie

INTRODUCTION GENERALE



Les opérations dans une usine de traitement (concentration) se produisent généralement en plusieurs étapes, soient :

- La préparation mécanique : consiste à libérer les entités minéralogiques valorisables des minéraux dans la gangue, cette opération comprend essentiellement les opérations de fragmentation couplées à celles du classement (direct ou indirect).
- La séparation basée sur la caractérisation des minéraux (gravimétrique, magnétique).
- L'évacuation des stériles.

Avant que les produits subissent le traitement minéralurgique, il faut qu'ils passent par une préparation préliminaire dite « préparation mécanique » ; cette préparation donne des produits répondant aux exigences propres avec une granulométrie bien définie et une teneur en stériles faible (ou ne dépasse pas une valeur donnée).

L'étude d'orientation que nous proposons de réaliser consiste à préparer mécaniquement dans le cadre d'une fragmentation, des échantillons composites de minerai de feldspaths potassiques d'AIN BARBAR (ANNABA-ALGERIE).

Préalablement, il s'agira de se pencher sur la caractérisation physique, minéralogique, pétrographique et chimique de ce minerai. Une étude de concassabilité, suivie de deux autres de broyabilité et de classification, permettant d'envisager un schéma technologique de prétraitement physique de ce type de minerai.

GENERALITES SUR LES FELDSPATHS

Les feldspaths sont les minéraux les plus abondants de l'écorce terrestre, dont ils contiennent la majeure partie de l'aluminium, la quasi totalité du sodium et du potassium, une grande partie du calcium et du silicium.

Les cristaux de feldspaths sont souvent visibles à l'œil nu et peuvent atteindre des dimensions de l'ordre du décimètre, avec des formes cristallines généralement nettes lorsqu'ils sont dégagés par l'érosion. La dureté est voisine de 6-6.5; la densité est faible et varie entre 2.5-2.8 suivant la composition chimique; il en est de même pour les indices optiques moyens, compris entre 1.52 et 1.58 .

De point de vue industriel ; les feldspaths constituent une très grande base pour la fabrication du verre et de la céramique , mais parmi les constituants des feldspaths ; il existe des espèces qui sont indésirables :

Pour la céramique : $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{MgO}$: qui donnent une couleur rouge aux produits finaux ;

Pour le verre : BaO : qui est responsable de l'abaissement de la dureté et la résistance des verres à la casse.

Pour libérer ces espèces (impuretés) il faut arriver à une maille de libération de :

- ❖ $<50\mu\text{m}$: pour le verre ;
- ❖ $<20\mu\text{m}$: pour la céramique.

Tableau 1 : les compositions chimiques usuelles du verre et de la céramique

Composition chimique usuelle	
La céramique	Le verre
SiO_2 : $<25\%$	SiO_2 : 70-73%
Fe_2O_3 : $<1\%$	CaO : 8-13%
TiO_2 : $<1\%$	Al_2O_3 : 0.2-2%
MgO : $<2\%$	Na_2O : 13-16%
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaCO}_3$: $<25\%$	MgO : 0-4%
Kaolinite : 50-85%	Fe_2O_3 : 0-2%
	BaO : 0-0.01%



LA PARTIE THEORIQUE

Chapitre I

THEORIE DE LA FRAGMENTATION

I-1. INTRODUCTION :

On appelle fragmentation l'ensemble des opérations ayant pour but de réduire la taille des grains (ou augmenter la surface spécifique).

I.2. FINALITE DE LA FRAGMENTATION

La fragmentation peut avoir diverses finalités :

- 1- Réduire les dimensions, soit pour faciliter la manutention, le conditionnement ou l'utilisation, soit pour libérer les constituants avant une opération séparatrice.
- 2- Eliminer, avant une mise en œuvre, des zones de rupture potentielle (libération d'unités quasi monocristallines).
- 3- Augmenter la réactivité vis-à-vis de processus, dont la cinétique dépend de la finesse ou du degré de désordre.
- 4- Homogénéiser (mélanges, dilutions solides, dosages).
- 5- Conférer des spécifications de forme, de texture, de distribution granulométrique.
- 6- Modifier la fonctionnalité, soit sous l'effet de l'activation mécano-chimique, soit en profitant de la création ou de la formation de nouvelles surfaces pour implanter les groupes de fonctionnels désirés.

I-3: LES LOIS ENERGETIQUES DE LA FRAGMENTATION

L'énergie libre des matériaux est en croissance au cours de l'exécution de la fragmentation ; et elle se convertit sous des différentes formes (énergie de surface, énergie de contrainte élastique... etc.).

Pour le calcul de ces énergies et les modes de transformation, on va procéder à l'étude quantitative qui recouvre l'objet des travaux théoriques tenant compte des aspects énergétiques et granulométriques.

- L'énergie mécanique de la fragmentation dépend de la solidité des roches, de la dimension des blocs et de la granulométrie nécessaire.
- Le calcul de l'énergie mécanique est basé sur les états initial et final de la granulométrie ; dans ce calcul on néglige quelques paramètres (la vitesse d'action, la nature des forces, la température... etc.).
- Trois théories sont imposées pour le calcul de cette énergie :

LOI DE « RITTINGER » (1867)

Cette loi est basée sur la proportionnalité entre l'énergie consommée et la quantité de surfaces nouvelles, la formule de calcul est donnée par :

$$W = K_R \cdot (1/D_{MAX} - 1/d_{max})$$

K_R : coefficient de proportionnalité de RITTINGER (il dépend du matériau et de l'appareil de la fragmentation)

D_{MAX}, d_{max} : dimension maximale initiale et finale des particules.

REMARQUE : la loi de RITTINGER est applicable pour une fragmentation fine à ultra-fine (<1 mm) de produits homogènes.

LOI DE « KICK » (1885)

Cette loi est basée sur la proportionnalité entre l'énergie nécessaire pour fragmenter un matériau homogène et la variation du volume (rapport de réduction).

$$W = K_K \cdot \log(R) \qquad R = D_{MAX}/d_{max}$$

Alors :

$$W = K_K \cdot \log(D_{MAX}/d_{max})$$

$$W = K_K \cdot (\log D_{MAX} - \log d_{max})$$

K_K : coefficient de proportionnalité de « KICK »

REMARQUE : la loi de « KICK » est applicable de préférence pour les fragmentations grossières (> 60mm), ou le degré de réduction semble négligeable.

LOI DE « BOND » (1951)

Cette loi est basée sur le calcul du travail consommé au cours de la fragmentation ; ce travail est exprimé en kilowatt heure (1kwh=3,6.106 joules, pour short-ton : 1 sht=0,907 tonne).

$$W = 10 \cdot W_i (1/\sqrt{d80} - 1/\sqrt{D80})$$

Avec :

- D80 et d80 : respectivement les dimensions en microns(μ) des ouvertures des tamis à maille carrée au travers ; duquel passant 80% du produit fragmenté et de l'alimentation.
- W_i : indice énergétique de « BOND » (indice de broyabilité) il caractérise l'aptitude à la fragmentation de chaque substance. il est défini par : le travail en kWh nécessaire pour réduire une short-ton du minerai d'une dimension infinie (1 à 2m) à un d80 de 100 μ .

$$W_i = K_B \cdot (1/\sqrt{100} - 1/\sqrt{\infty}) = 0,1 \cdot K_B$$

K_B : coefficient de proportionnalité de « BOND »

REMARQUE :

La formule de « BOND » est largement utilisée dans la pratique ,elle semble plus proche de la réalité ; mais elle n'est valable que sous certaines conditions spécifiques :

- Broyage humide
- Diamètre interne du broyeur = 2.44 m.
- Dimension du produit (d80 > 60 μ) .

On peut citer quelques exemples des indices de « BOND » dans le tableau suivant :

Nature des matériaux	W_i (kWh/t)
Barytine	4.73
Quartzite	9.58
Quartz	13.57

Tableau I.1
Indice énergétiques
De quelques
matériaux

Le tableau I.2 donne une liste des divers coefficients correctifs proposé par « BOND »

Cas général d'application de la formule de « BOND »	Cas particulier	Coefficient de multiplication
Broyage par voie humide	Broyage par voie sèche	1.3
Diamètre du broyeur 2.45m (8ft)	$\phi \neq 2.45$	$(2.45/\phi)^{0.2}$
Broyage fin $d_{80} > 60\mu\text{m}$	$d_{80} < 60\mu\text{m}$	$(d_{80}+10.3)/(1.145 \times d_{80})$
Circuit fermé	Circuit ouvert avec passant au tamis de 100 μm	
	50%	1.035
	60%	1.05
	70%	1.10
	80%	1.2
	90%	1.4
	95%	1.57
	98%	1.7
$R = D_{80} / d_{80} \geq 4$	$R < 4$	R – 1.2 R – 1.35

Tableau I.1 : Coefficient multiplicateur de W_1 pour des cas particuliers.

I-4: CARACTERISATION DES PRODUITS DE LA FRAGMENTATION (LES MESURES DIMENSIONNELLES)

Ces mesures sont effectuées au cours de la fragmentation ; elles ont le but de contrôler le fonctionnement des installations et la qualité du produit .

C1 –MESURES DIRECTES

Effectuées par mètre ou pied à coulisse pour les gros fragments (supérieur à quelques centimètres) elles consistent à déterminer les trois dimensions :

- La longueur L .
- La largeur l.
- L'épaisseur E .

C2- MESURES PAR MICROSCOPE

Effectuées par :

- le microscope ordinaire pour les grains de dimension jusqu'à 0.2 μ .
- le microscope électronique pour les grains de dimension jusqu'à 0.1 μ

Elles consistent à déterminer le nombre ,la forme et la dimension des grains d'un échantillon .

C3- MESURES PAR SEDIMENTATION

Réalisées par le calcul des vitesse de chute des grains dans un milieu visqueux .

C4- MESURES PAR TAMISAGE ET CRIBLAGE

- La matière à analyser doit être sèche .
- On place une série de tamis d'ouvertures de maille décroissante.
- Si la série contient (N) tamis ;on obtient après le tamisage (N+1) tranches granulométriques.
- Les ouvertures de maille des tamis répondent à une progression géométrique de raison $R > 1$.

LES TYPES DES TAMIS UTILISES

TYPES DE TAMIS	RAISON @	OUVERTURE DE BASE	AUTRES CARACTERISTIQUES
Les tamis français (AFNOR)	1.259	1 mm	-<5mm :on opère sur des passoires -<0.04 mm ,les mesures ne sont pas précises
Les tamis tyler (USA)	1.44	Tamis 200 mesh d'ouverture 0.0029 pouce(74 μ)	/
Autres types - Allemand DIN - BS(british standard)	/	/ 63 μ	Numérotés en nombre de maille par centimètre .

Tableau I.1: les principaux types des tamis utilisés.

Chapitre II

STADES DE LA FRAGMENTATION

II.1. INTRODUCTION :

La fragmentation contient deux principaux stades :

- Le concassage ;
- Le broyage.

Ces deux stades se distinguent par des méthodes artificielles, car leurs domaines granulométriques peuvent être identiques.

En général, le degré de réduction (R) est la caractéristique principale de la fragmentation, il s'exprime par la relation suivante :

$$R = \frac{D_{MAX}}{d_{max}}$$

Avec : - D_{MAX} : dimension maximale des blocs avant la fragmentation;
- d_{max} : dimension maximale des blocs après la fragmentation.

En pratique, la méthode la plus utilisée considère le rapport suivant :

$$R = \frac{D_{80}}{d_{80}}$$

Avec : - D_{80} : dimension des ouvertures carrées des tamis de contrôle, à travers lequel passe 80% du minerai initial.

- d_{80} : dimension des ouvertures carrées des tamis de contrôle, à travers lequel passe 80% du minerai fragmenté.

Remarque : le degré de réduction peut être varier suivant le type d'appareil utilisé pour chaque stade de fragmentation.

II.2. LE CONCASSAGE :

II.2.1. DEFINITION :

C'est le stade de la fragmentation qui consiste à réduire les dimensions des particules à moins de 1 cm ; il se pratique toujours à sec.

On peut diviser le concassage en trois sous-stades qui le caractérisent :

* *CONCASSAGE GROSSIER (CONCASSAGE PRIMAIRE ; DEBITAGE) :*

Appliqué pour les blocs grossiers résultant de l'abattage, jusqu'à atteindre des particules de dimension inférieure à 100 mm.

* *CONCASSAGE SECONDAIRE (INTERMÉDIAIRE) :*

Appliqué aux particules concassées dans (A*), il donne des particules de dimension inférieure à 25 mm.

* *LE CONCASSAGE TERTIAIRE (FINAL) :*

appliqué aux particules concassées provenant du concassage secondaire ; les grains obtenues ont une dimension inférieure à 10 mm.

II.2.2. LES APPAREILLAGES DU CONCASSAGE (CONCASSEURS) :

Les appareils de concassage sont appelés « les concasseurs » ; ils sont divisés en :

A)- Concasseur à mâchoires :

Il est constitué par deux mâchoires disposés face à face en forme de V, dont l'une est fixe et l'autre mobile. Le rapprochement de la mâchoire mobile provoque par compression, l'éclatement des gros blocs.

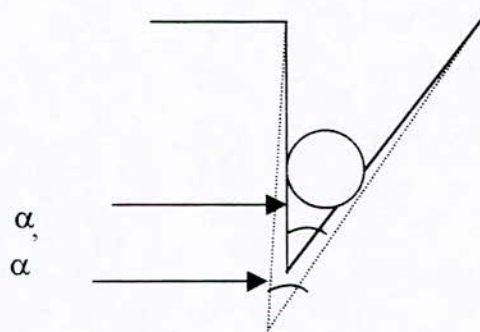
Il existe deux types principaux d'appareils:

- Concasseur à mâchoires à simple bille.
- Concasseur à mâchoires à double bille.

❖ **Les caractéristiques technologiques des concasseurs à mâchoires :**

1.L'angle de prise :

$\alpha > \alpha'$



2.vitesse de rotation :

$$n = 30 \times \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

g : accélération de la force de pesanteur (m/s^2).

h : la hauteur de concasseur entre l'ouverture supérieure et l'ouverture inférieure.

Le débit :

La formule la plus connue de débit massique de concasseur à mâchoires est :

$$Q=0.1.L.S$$

Où : S : largeur maximale de la fonte de déchargement.

L : longueur de la partie incliné du concasseur.

B)- Concasseur giratoire :

Dans ces appareils, les matières à concasser sont réduites par écrasement entre une paroi circulaire fixe et un corps tronconique, monté sur un arbre vertical, mû à sa base par excentrique. Suivant que l'arbre vertical décrit un cône ou un cylindre, l'appareil est un concasseur à giration conique ou à giration cylindrique.

Les concasseurs giratoires sont utilisés dans l'industrie minière comme

- Concasseur giratoire primaire.
- Concasseur giratoire secondaire.

C)- Concasseur à cylindres :

Il est formé de deux cylindres, montés sur deux arbres horizontaux tournant en sens inverse. les cylindres peuvent être revêtus d'une chemise lisse en acier très dur ; ils peuvent être cannelés, dentés ou étoilés.

Pour des cylindres lisses, il existe une relation entre le diamètre D des cylindres et la dimension d des particules.

pour des matériaux durs , il convient de respecter les conditions suivantes:

- $D > 22d$ pour un rapport de réduction 1/2 et 3/1
- $D > 26d$ pour un rapport de réduction 4/1

II.3.4 Concasseur à percussion (opèrent par choc) :

Dans ce type d'appareils, la fragmentation est obtenue par des chocs violents. il est constitué d'un bâti en plusieurs parties mécano soudées, garnies, intérieurement de pavés de blindage et reliées entre elles par des verrouillages. A l'intérieur du bâti, un rotor, muni de 2 à 6 battoirs du percuteur encastré, tourne à très grande vitesse.

Il existe deux types principaux d'appareils:

- ❖ Concasseur à percussion rigide.
- ❖ Concasseur à percussion articules.

II.2.3. LE CHOIX DES CONCASSEURS

Le choix des appareils de la fragmentation dépend de:

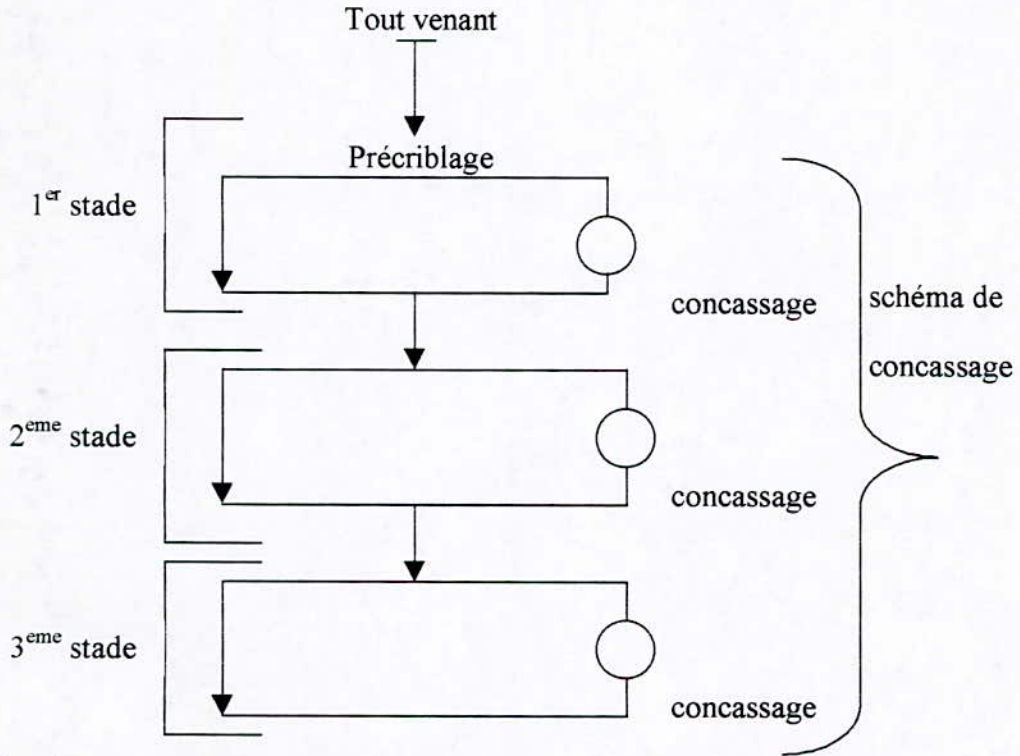
- les dimensions des grains à l'entrée et à la sortie de l'appareil;
- la finesse, la dureté, l'humidité et la pollution du produit;
- l'usure et la maintenance de l'équipement;
- les coûts d'investissement... etc.

Pour chaque opération, le concasseur correspondant peut être défini à partir des paramètres suivants:

- la capacité d'admission, qui fixe les dimensions des plus gros blocs admissibles;
- le rapport optimale de réduction;
- la distribution granulométrique des produits à la sortie de l'appareil;
- le coefficient de forme des fragments;
- le coût de maintenance.

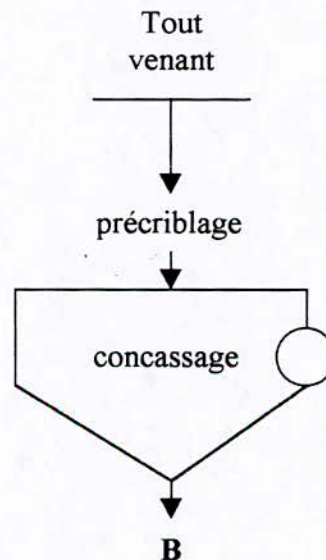
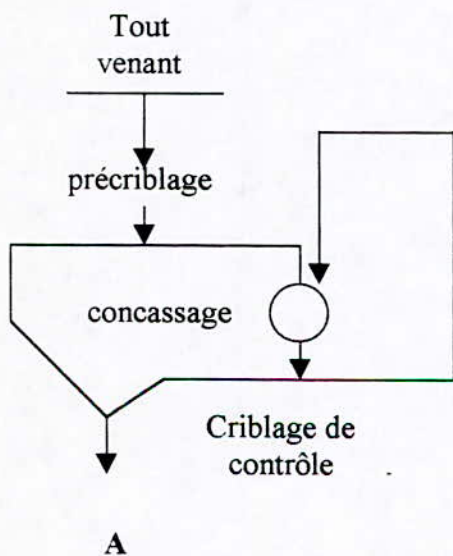
II.2.4. LES SCHEMAS DE CONCASSAGE :

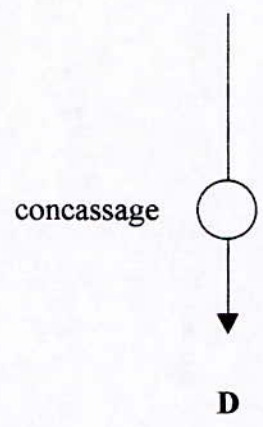
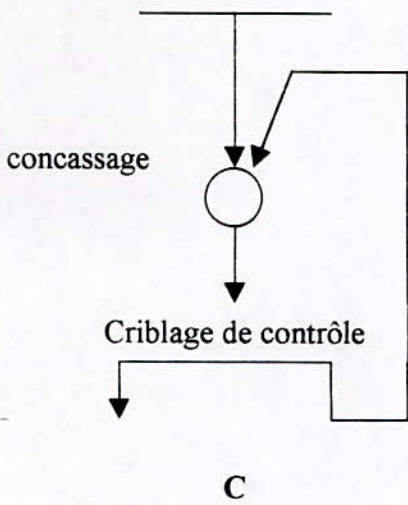
Les opérations de concassage et de criblage(tamisage) forment un stade de concassage ; tandis que les stades de concassage forment un schéma de concassage .



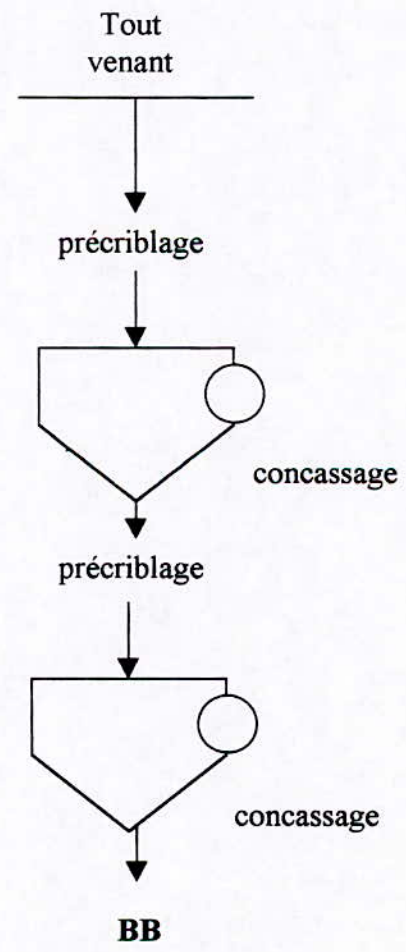
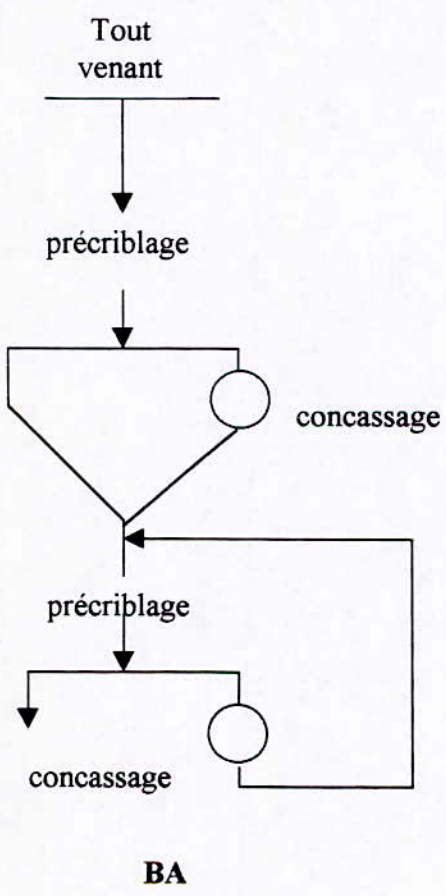
Les stades de concassage présentent 4 variantes :

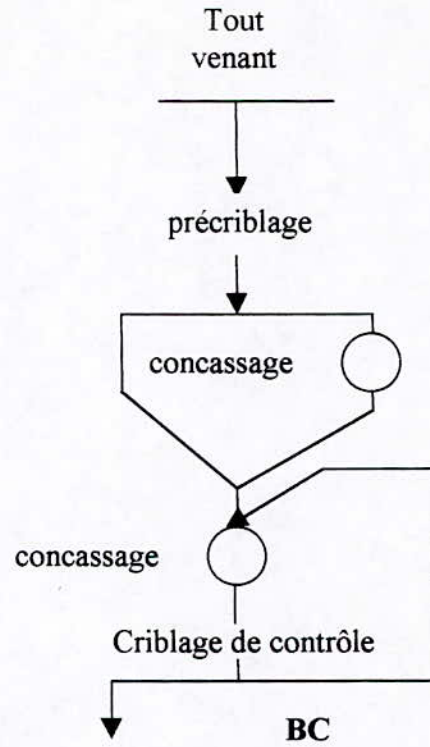
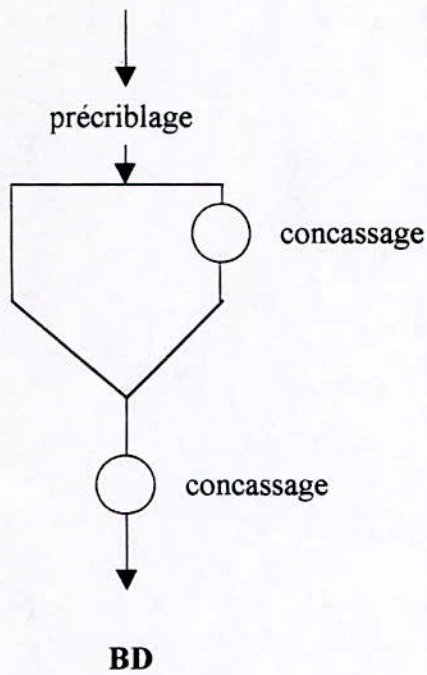
- A/ opérations de préciblage, de concassage et de criblage de contrôle ;
- B/ opérations de préciblage et de concassage ;
- C/ opérations de concassage et de criblage de contrôle ;
- D/ opérations de concassage.





Il existe quatre variantes possibles de schéma de concassage à 2 stades de concassage :
BA ;BB ;BC et BD.





Dans le cas de deux étages ; on obtient 16 variantes :

AA	BA	CA	DA
AB	BB	CB	DB
AC	BC	CC	DC
AD	BD	CD	DD

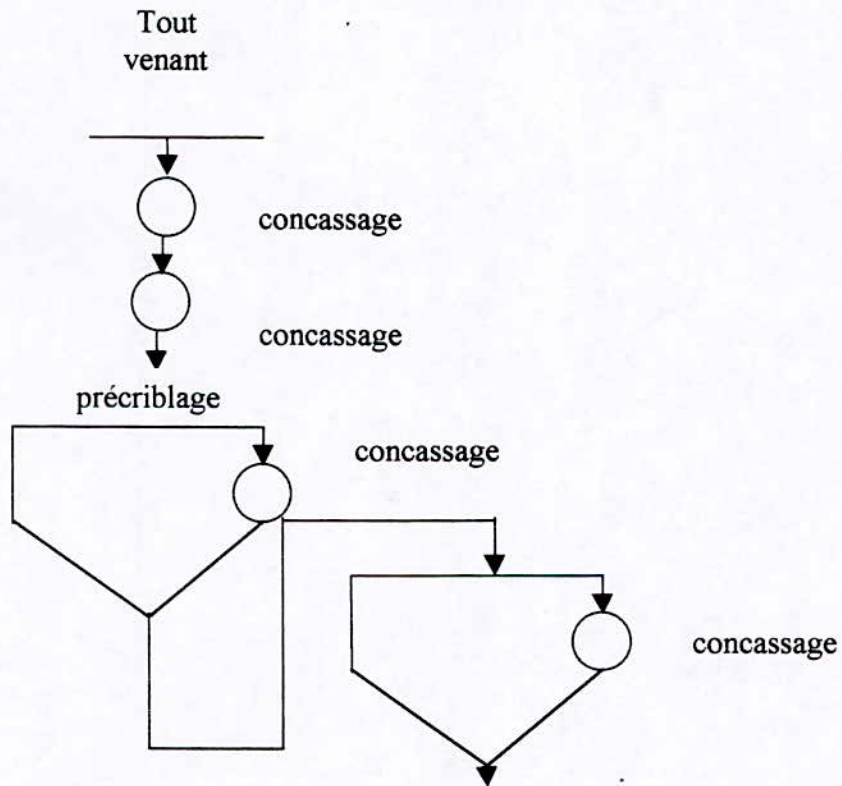
Pour 'n' étages ; on obtient 4^n variantes.

Le choix des schémas basé essentiellement sur :

- les dimensions des grains souhaitées;
- le débit de l'alimentation ;
- le type de l'alimentation(manuelle ou automatique).

LES SCHEMAS PARTICULIERS DE CONCASSAGE :

Dans les usines d'enrichissement de très grande capacité ; traitant des minerais durs de type quartzite magnétique, durant le concassage des blocs de formes aplaties ; on peut utiliser un schéma de concassage à 4 stades ; sans précriblage dans les premiers de concassage grossier.



II.3. LE BROYAGE

II.3.1. DEFINITION

Le broyage est l'opération qui consiste à réduire les produits concassés de taille entre 7 mm et 0.4 mm; par l'utilisation des masses broyantes(boulets ou barres). Le broyage est divisé en trois types:

- broyage à sec(moins de 2% d'eau dans le produit à broyer)
- broyage semi-humide(2 à 25% d'eau dans le produit à broyer)
- broyage humide(25 à 300% d'eau dans le produit à broyer).

II.3.2. LES APPAREILS DE BROYAGE

Ils sont appelés "les broyeurs" et divisés en trois classes:

*Broyeur à barres : Un corps cylindriques (tambour) contenant des barres en acier; Broyage grossiers (pour les tonnages >30 t/h) ;Les dimensions des grains d'alimentation peuvent aller à 40 mm; R=20 à 25 (circuit ouvert)R=40 à 50 (circuits fermé) ;Diamètre des barres 40 à 100 mm (pas de surbroyage)

*Broyeur à boulets : Un corps cylindriques contenant des boulets sphériques en acier au carbone ou manganèse; Broyage fin et très fin (jusqu'à 10 μ) la dimension maximale à l'entrée: 25 mm ; R=40 à 100 ; diamètre des boulets: 25 à100 mm(Il faut l'associer à une classification pour éviter le surbroyage)

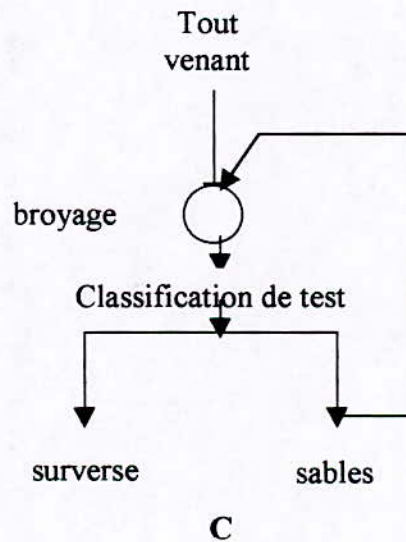
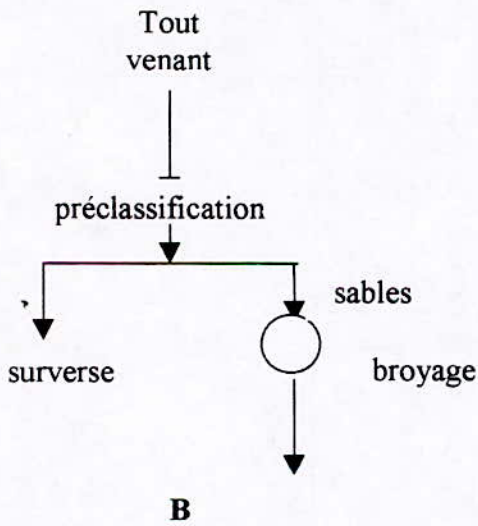
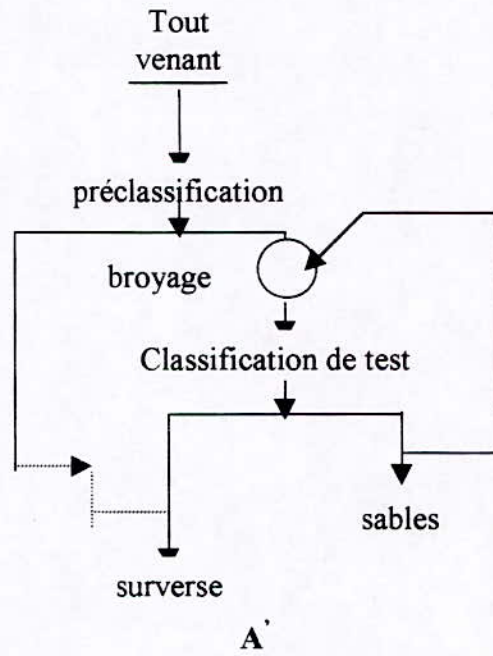
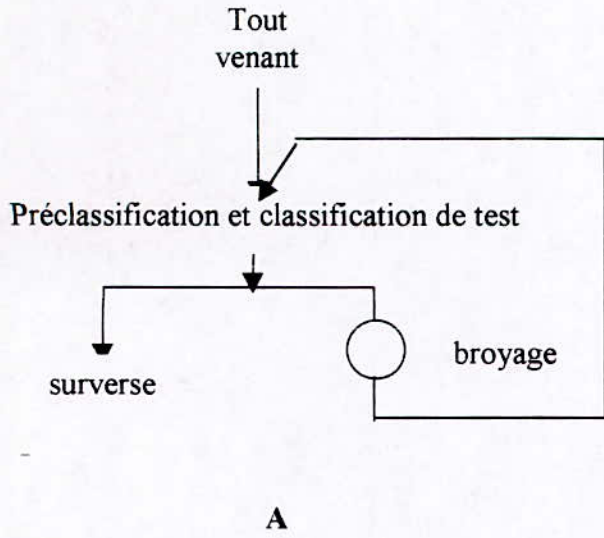
*Broyeurs à cylindres :un appareil de fragmentation qui offre dans l'industrie des mines et carrières, de nombreux avantages ; il se compose de 2 cylindres lisses séparés par un entr'axe fixe et qui se meuvent l'un sur l'autre à contre sens.

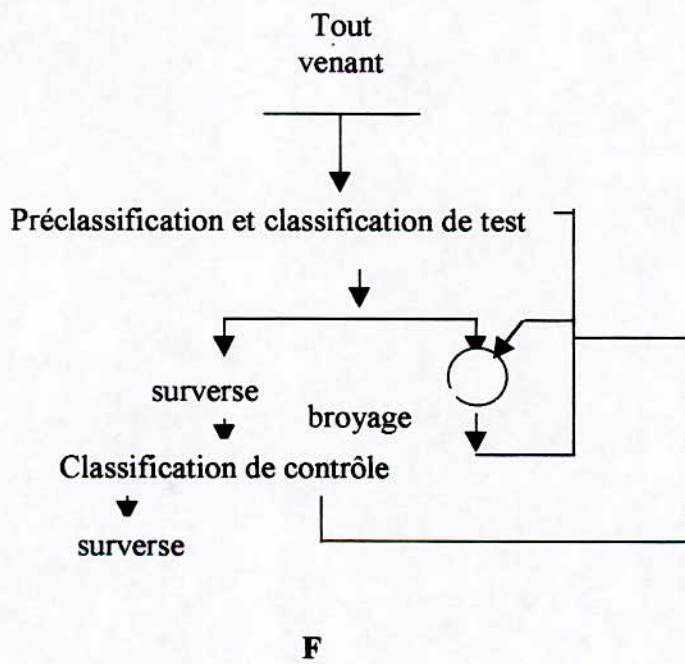
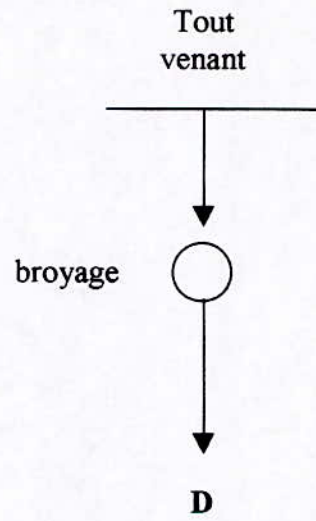
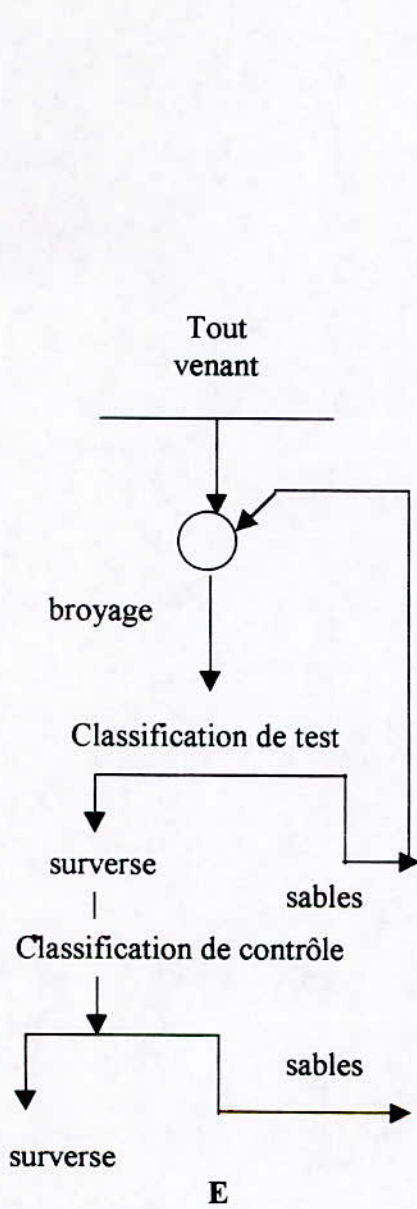
III.3.3 LES SCHEMAS DE BROYAGE :

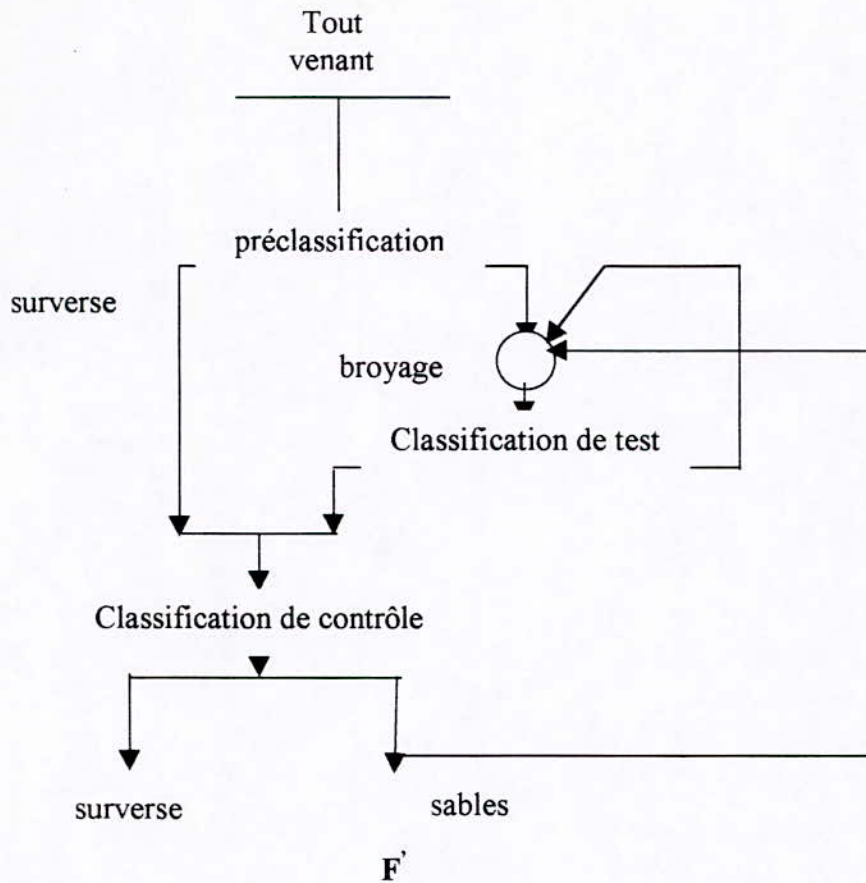
Les schémas de broyage peuvent inclure les opérations suivantes de classification :

- classification préliminaire(préclassification) ;
 - classification de test dans un circuit complètement fermé ;
 - classification de test dans un circuit partiellement fermé ;
 - classification de contrôle de la surverse ;
 - classification de contrôle des sables.

Il existe 8 variantes de base(à un stade) :A , A', B, C, D, E, F, F'.







REMARQUE :

Le procédé de broyage ; dans lequel la masse broyante s'avère être les blocs du matériau à broyer, porte le nom du broyage autogène ; ce type de broyage peut se présenter sous trois formes :

- 1^{ère} forme : autoréduction des minerais ; des blocs de granulométrie maximale variant entre 200 et 500mm passent dans le broyeur autogène (cette granulométrie peut atteindre 500 à 700mm).
- 2^{ème} forme : autoréduction grossière du minerai sous forme de galet ; le minerai de granulométrie entre 15 et 25mm passe dans le broyeur ainsi que le milieu broyant formé de minerai de grosseur élevée.
- 3^{ème} forme : autoréduction fine du minerai se présentant sous forme des galets ; lorsque les broyeurs autogènes sont installés au 2^{ème} stade de broyage (la granulométrie varie de 3 à 5mm), le schéma de concassage dépend de la variante retenue d'autoréduction.

II.4. L'ASPECT ECONOMIQUE DE LA FRAGMENTATION :

Grâce à l'usure et au faible rendement des appareils de la fragmentation. Le prix de revient de la fragmentation peut atteindre la moitié du prix de revient des opérations d'enrichissement.

LES FACTEURS INFLUANT SUR LE P.R DE LA FRAGMENTATION :

La force motrice en kWh/Tonne est d'autant plus faible que la section de fragmentation peut absorber un débit élevé des solides.

E.C.Blanc (1964) a donné les consommations spécifiques de l'énergie pour les stades de la fragmentation ; les consommations sont données dans le tableau suivant :

Stade de fragmentation	Roches	Consommation (kWh/tonne)
Concassage grossier	- friables	0.15-0.25
	- moyennes	0.25-0.50
	- dures	0.50-0.75
Concassage fin	- friables	0.75-1.25
	- moyennes	1.25-2.00
	- dures	2-3
Broyage grossier	- friables	3-5
	- moyennes	5-7
	- dures	7-10
Broyage fin	- friables	10-17
	- moyennes	17-25
	- dures	25-40

Tableau II.1 les consommations spécifiques de l'énergie pour les différents stades de la fragmentation

En général le moteur d'entraînement présente une puissance nominale égale à 200 % de la puissance moyenne nécessaire pour les concassage à mâchoires; elle est égale à 160 % pour les concassages à impact et ceux giratoires ; elle est égale à 130 % pour les broyeurs (E.C.Blanc 1964).

L'usure :

R.Testut (1958) indique que, pour un concassage, présentant un taux de réduction de 50 , l'usure des pièces en acier au manganèse est de 10 g/t pour un calcaire est de 50 g/t pour un minerai très dur (ex : quartz). L'usure, somme toute assez réduite pour le concassage, devient très grande pour le broyage ou l'on relève des consommations en acier (boulets et blindage) de l'ordre de 250 g/t pour un calcaire et de 2500 g/t pour des minéraux durs ; dans des cas exceptionnels, on atteint 4000-5000 g d'acier par tonne.

La main-d'œuvre :

La main-d'œuvre est divisée en 2 types :

- La main-d'œuvre de surveillance : elle est réduite à quelques ouvriers (1 à 4 ouvriers).

- La main-d'œuvre d'entretien : elle s'établit en fonction de travail, en moyenne à 0,07 homme par tonne traité (cette main-d'œuvre doit être spécialisée dans le domaine technique de maintenance des divers appareil)

LES LIMITES D'APPLICATION DES APPAREILS :

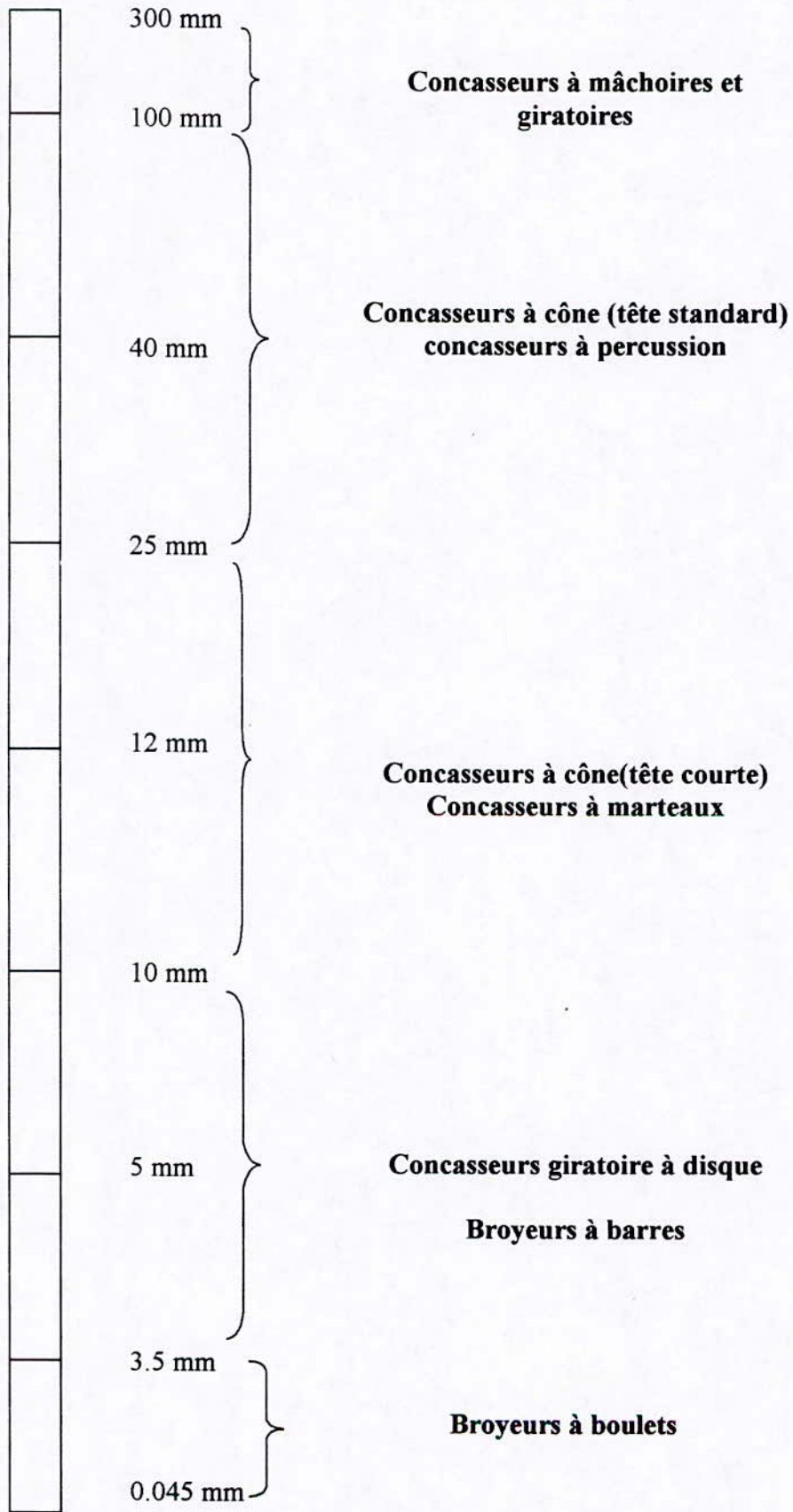
Les limites d'application de chaque appareil montrent que pratiquement pour chaque cas précis, il existe au moins une si ce n'est plusieurs possibilités .

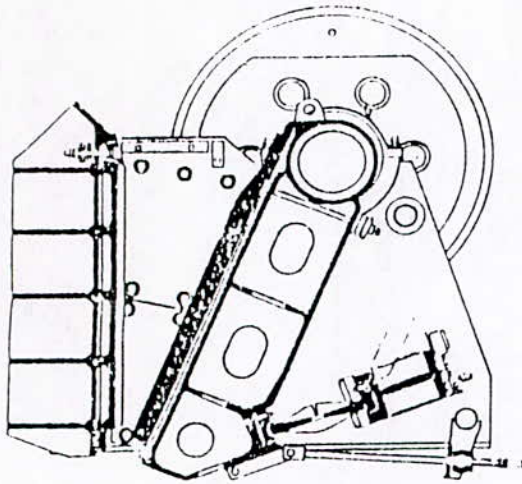
Le tableau suivant dont les champs d'application des appareils de fragmentation.

Appareil	Dureté	Abrasivité	Humidité	Rapport de réduction maximale	Champs d'application
Mâchoire à simple effet	Mi-dur à durs	Abrasif	Secs, peu humide, peu collant	8/1 à 10/1	Matériaux de carrières Minerais divers, laitiers de H.F. carbure
Mâchoire à double effet	Durs à extra-durs	Très abrasif	Secs, peu humide, non collant	8/1 à 10/1	Matériaux de carrières Minerais divers, laitiers de H.F. carbure
Giratoire	Mi-durs extra-durs	Très abrasif	Secs, peu humide, non collant	6/1 à 8/1	Matériaux de carrières Minerais divers, laitiers de H.F. carbure
A un cylindre et mâchoire	Tendre à mi-durs	Non abrasif	Secs, humide, collant	5/1 à 6/1	Charbon, coke, calcaire, minerais
A deux cylindres dentés	Tendre à mi-durs	Non abrasif	Secs, humide, collant	4/1 à 5/1	Charbon, coke, calcaire, minerais
A percuteur rigide	Tendre à mi-durs	Non abrasif	Secs, peu humide, non collant	15/1 à 25/1	Calcaire, Gypse, minerais
A matériau articulé	Tendre à mi-durs	Non abrasif	Secs, peu humide, non collant	20/1 à 30/1	Calcaire, charbon, bauxite

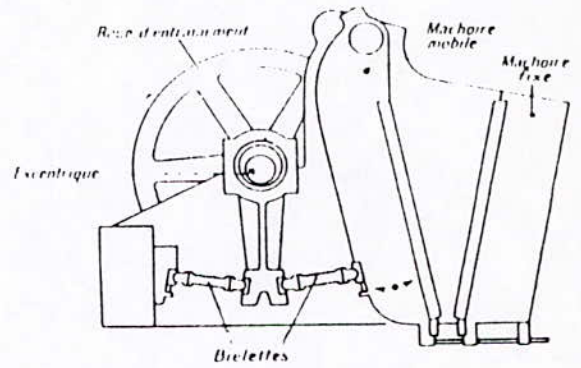
Tableau II.2 :champs d'application des appareils de fragmentation
(d'après E.C.BLANC)

Domaines granulométriques d'utilisation de quelques appareils usuels de fragmentation



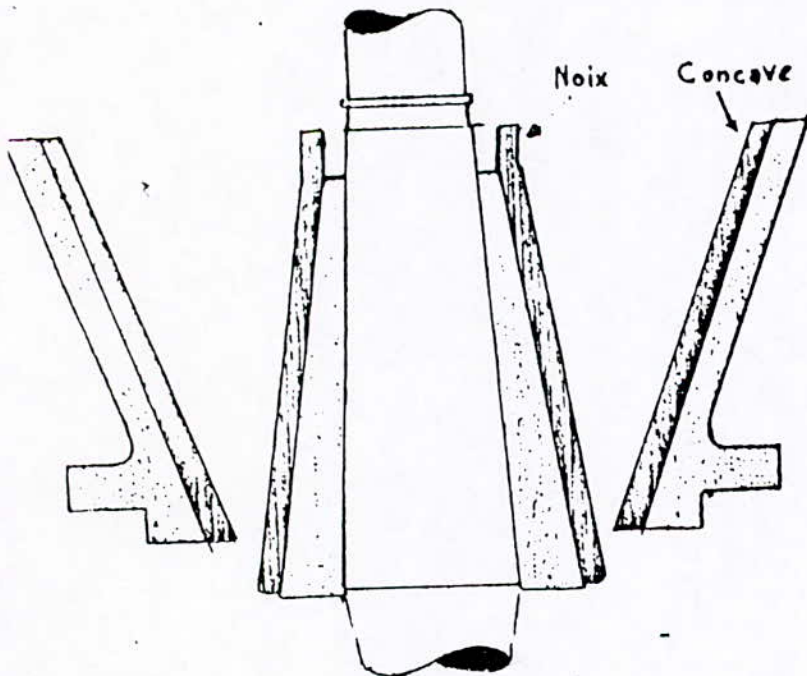


(a)

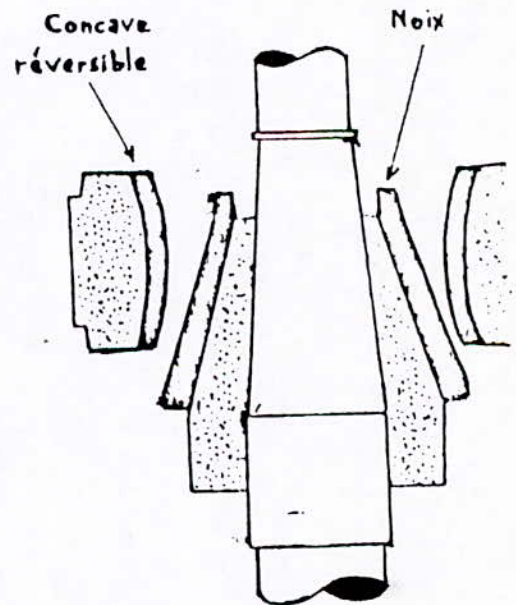


(b)

Figure 1 : concasseur à mâchoires
a- à simple bielle
b- à double bielle

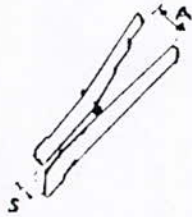


(a)

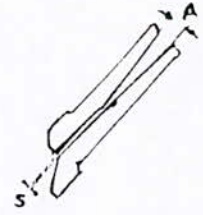


(b)

Figure 2 : concasseur giratoire
a- primaire
b- secondaire



(a)



(b)

Figure 3 : concasseur à cône
a- type tête standard
b- type tête courte

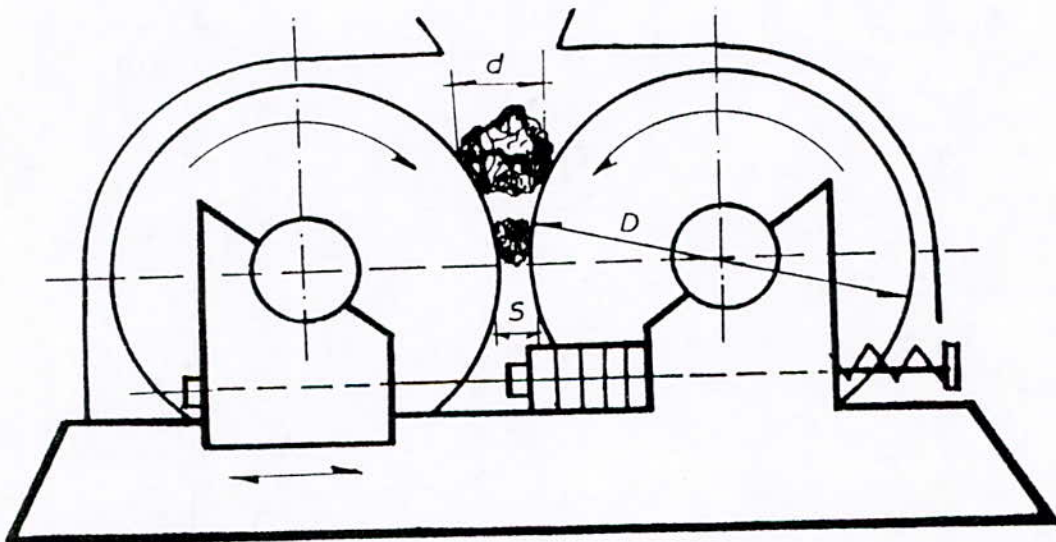


Figure 4 :Concasseur à cylindres lisses

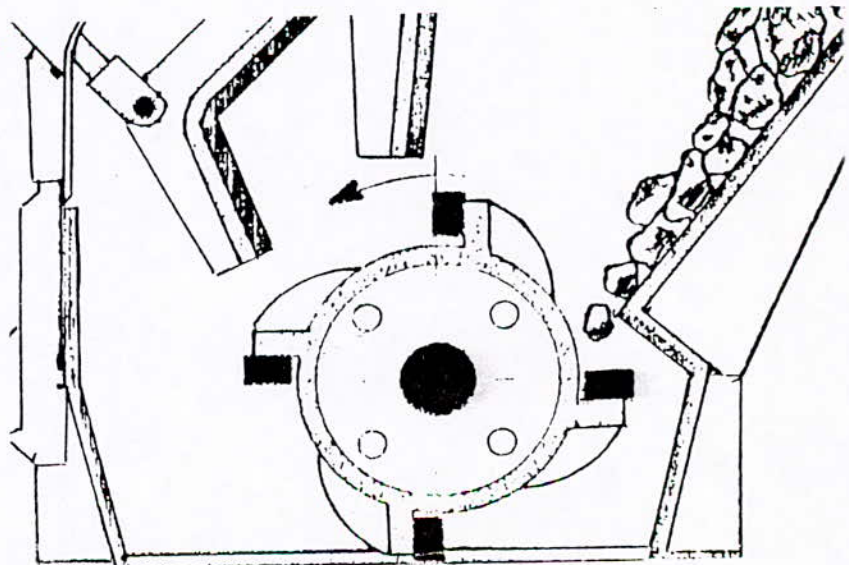


Figure 5 : concasseurs a percuteurs rigides

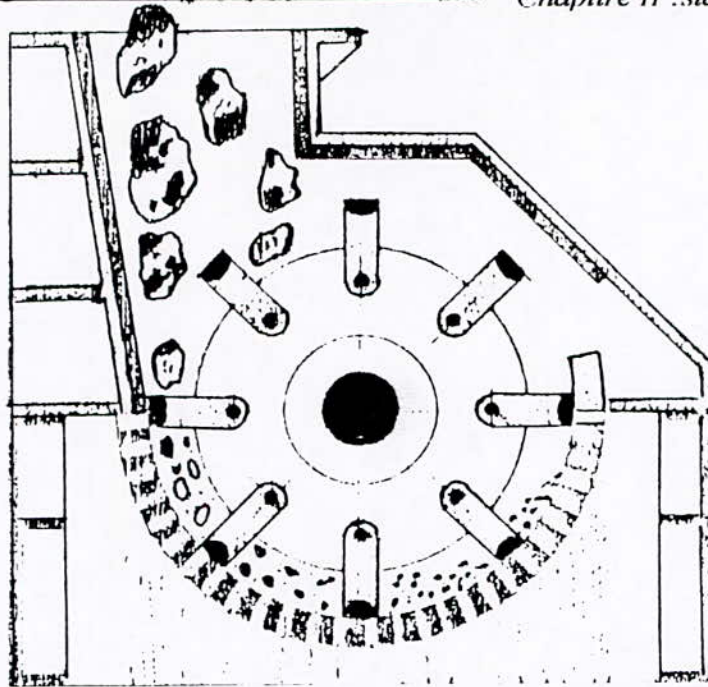


Figure 6 : concasseur à marteaux articulés

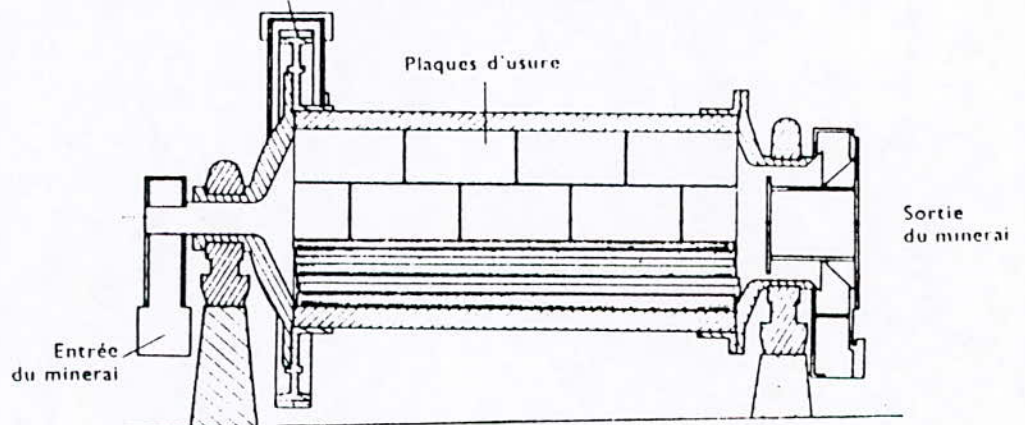


Figure 7 : broyeur à barres

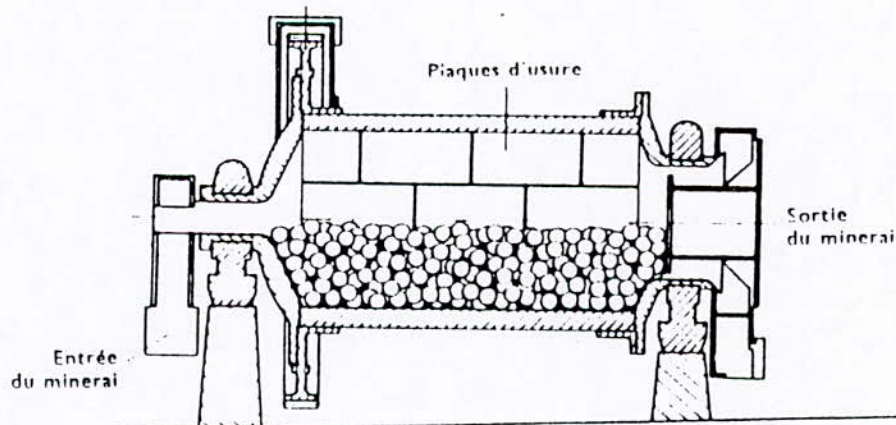


Figure 8 : broyeur à boulets

Chapitre III

LA CLASSIFICATION

III.1. DEFINITION

C'est l'opération de surveillance des grains à la sortie de chaque appareil de fragmentation ; afin de les classer par dimension pour éviter la répétition de l'opération pour les grains qui ont déjà la dimension voulue.

III.2. LES TYPES DE CLASSIFICATION

La classification est effectuée à l'échelle du laboratoire et à l'échelle industrielle suivant deux méthodes:

- Par voie directe: le criblage (tamisage);
- Par voie indirecte: La sédimentation.

Remarque: la voie directe est moins précise que la voie indirecte.

A. LA CLASSIFICATION DIRECTE

A1.DEFINITION

C'est le procédé de classement volumétrique sur une ou plusieurs surfaces tamisantes de particules de différentes dimensions; afin d'obtenir deux produits:

- Le refus: ensemble des grains, de dimension supérieure à la maille de l'ouverture du crible
- Le passant: ensemble des grains, qui passent à travers les ouvertures des cribles.

Un criblage peut être défini à l'aide des paramètres suivants:

- La capacité: la quantité du minerai passant à travers le crible;
- Le taux d'humidité: comme il est possible de cribler un produit humide; on assiste alors à l'utilisation des cribles chauffés électriquement;
- L'efficacité: c'est le rendement du crible; qui est donné par le rapport entre la quantité passant et le refus.

A2.LES APPAREILS DE CRIBLAGE

Les types d'appareils les plus utilisés et leurs caractéristiques sont résumés dans le tableau suivant:

Type d'appareil	Composition	Domaine d'utilisation	Autres
Les grilles fixes	Des barreaux parallèles situés en amont du concassage	Criblages grossiers	Utilisées afin d'éliminer les produits fins
Les grilles mobiles	- à barres tombantes - à rouleaux à disques	Criblages très grossiers (100 à 500 mm)	Utilisées pour éviter l'obturation
Les tormmels	Un corps cylindrique ou tronconique en tôle métallique	Traitement des graviers et de produits de carrière	Inclinées de 10 à 20% pour permettre l'avancement des produits
Les cribles	- à secousses - à vibrations	Pour les criblages très fins	Ne nécessitent pas de grande énergie

Tableau III.1: types des cribles et utilisations.

B. LA CLASSIFICATION INDIRECTE

B1. DEFINITION

Les procédés de la classification indirecte sont basés sur les phénomènes régis par les lois du mouvement des solides dans les fluides; en utilisant le calcul de la force de résistance qui s'oppose aux forces de pesanteur, cette classification est réalisée en 2 sortes:

- Par équivalence (solides équitombales);
- Par densité (classement gravimétrique).

Ces forces de résistance exercées par les fluides aux déplacements des solides sont liées directement aux régimes des écoulements des fluides; elles sont données par la formule de "LORD RALEIGH"

$$R=C.S.\rho.V^2/2$$

C: coefficient de résistance

S: la section du solide perpendiculaire au mouvement

ρ : masse spécifique du fluide

V: vitesse du mouvement relatif du solide et du fluide.

Il existe deux types de sédimentation, suivant l'abondance des particules solides dans la pulpe:

- La sédimentation libre: Si le volume du solide dans le fluide est $< 5\%$;
- La sédimentation gênée: pour les valeurs $> 5\%$.

a- la sédimentation libre:

la condition d'équivalence s'écrit par:

$$(\rho_s - \rho).d^2 = (\rho_{s'} - \rho).d'^2 \quad \text{en régime laminaire}$$

$$(\rho_s - \rho).d^2 = (\rho_{s'} - \rho).d' \quad \text{en régime turbulent.}$$

($\rho_s, \rho_{s'}$) les masses spécifiques de deux particules de diamètre (d, d')

ρ : la masse spécifique de la suspension

De ces deux relations on aura:

$$\frac{d}{d'} = \left(\frac{\rho_{s'} - \rho}{\rho_s - \rho} \right)^m \quad \text{appelé la raison de sédimentation libre}$$

$m=0.5$ pour un régime laminaire

$m= 1$ pour un régime turbulent.

b- la sédimentation gênée:

les expressions précédentes restent valables à condition de remplacer la masse spécifique du fluide par celle de la suspension. D'après l'expression de la raison de sédimentation on déduit que:

- pour obtenir un classement volumétrique, il faut employer des pulpes diluées pour que ρ soit proche le plus possible que l'unité.
- pour obtenir un classement densimétrique, il convient d'opérer dans des pulpes relativement denses (25% de solides en volume) afin de ne pas trop ressentir l'influence de la taille des grains.

B2. LES APPAREILS DE LA CLASSIFICATION(CLASSIFICATEURS) :

Un classificateur est un appareil qui permet d'opérer un classement par entraînement de certains particules à l'aide d'un courant d'eau ou d'air. cette fraction s'appelle surverse(OVERFLOW) alors que les particules sédimentées constituent la souverse (UNDERFLOW); la plupart de ces appareils travaillent dans des conditions de sédimentation gênée.

En 1939 A-M-GAUDIN a calculé et obtenu expérimentalement les coefficient par lesquels il faut multiplier les limites de chute des corps sphériques pour tenir compte de la concentration volumétrique en solide de la pulpe ; ces coefficients sont donnés dans le tableau suivant:

% volumétrique du solide	Coefficient expérimental	Coefficient calculé
0	1.00	1.00
0.0025	0.97	0.97
0.005	0.94	0.95
0.01	0.89	0.92
0.02	0.83	0.86
0.04	0.73	0.76
0.08	0.51	0.60
0.16	0.29	0.35
0.32	0.13	0.08

Tableau III.2: les coefficients de A-M-GAUDIN(1939)

Les classificateurs utilisant l'action de la pesanteur travaillent dans le domaine de l'écoulement et effectuent des coupures correctes entre 2 mm et 70 μm . L'utilisation de la centrifugation permet de travailler sur des grains de dimensions < 70 μm .

3.2. LES TYPES DES CLASSIFICATEURS

Techniquement ; les classificateurs sont divisés en appareils hydrauliques et appareils pneumatiques; cette division est en fonction du fluide de classement (l'eau ou l'air).

Les subdivisions de ces deux types sont données par le tableau

Les classificateurs	
Appareils hydrauliques	Appareils pneumatiques
<ul style="list-style-type: none"> - Appareils à courant horizontal et à sédimentation (caisses pointues , classificateurs mécaniques à râteaux et à vis) - Appareils à courant vertical - Appareils agissant par centrifugation (hydrocyclones, centrifugeuses) 	<ul style="list-style-type: none"> - Chambre de dépoussiérage - Appareils à courant d'air ascendant

Tableau III.3 les types des classificateurs

Dans les deux tableaux suivants on va donner un résumé sur les principales applications des classificateurs:

Tableau III.4.a les utilisations des classificateurs hydrauliques

Type d'appareil	% du solide dans la surverse	% du solide dans la sousverse	% du solide dans l'alimentation	Dimensions des grains traités	Application typique
Classificateur mécanique à râteliers	5-65	80-83	Pas critique	0.8-0.15	Broyage en circuit fermé (lavage, flottation)
Classificateur à coupe	5-25	75-80	10-75	0.2-0.04	/
Classificateur à cône	5-30	35-65	Pas critique	0.6-0.04	Concentration gravimétrique
Classificateur FAHRENwald	5-20	40-60	30-40	3.3-0.1	Broyage en circuit fermé
Cyclone	5-30	55-71	1-30	0.2-0.005	Séparations fines
centrifugeuse	1-5	10-20	2-10	0.01-0.002	Séparations ultrafines

Tableau III.4.b les principales utilisations des classificateurs pneumatiques

Type d'appareil	Zone d'utilisation	Imperfection	Avantages	Inconvénient
Boite de détente simple	100 μ m	0.6-0.8	Simplicité et grande capacité	Peu précis
Appareil à courant d'air ascendant	80-300 μ m	0.1-0.3	Précision et forte capacité	Néant
Appareil de centrifugation	2-150 μ m	0.1-0.6	Précision et grande capacité	Peu précis et faible capacité

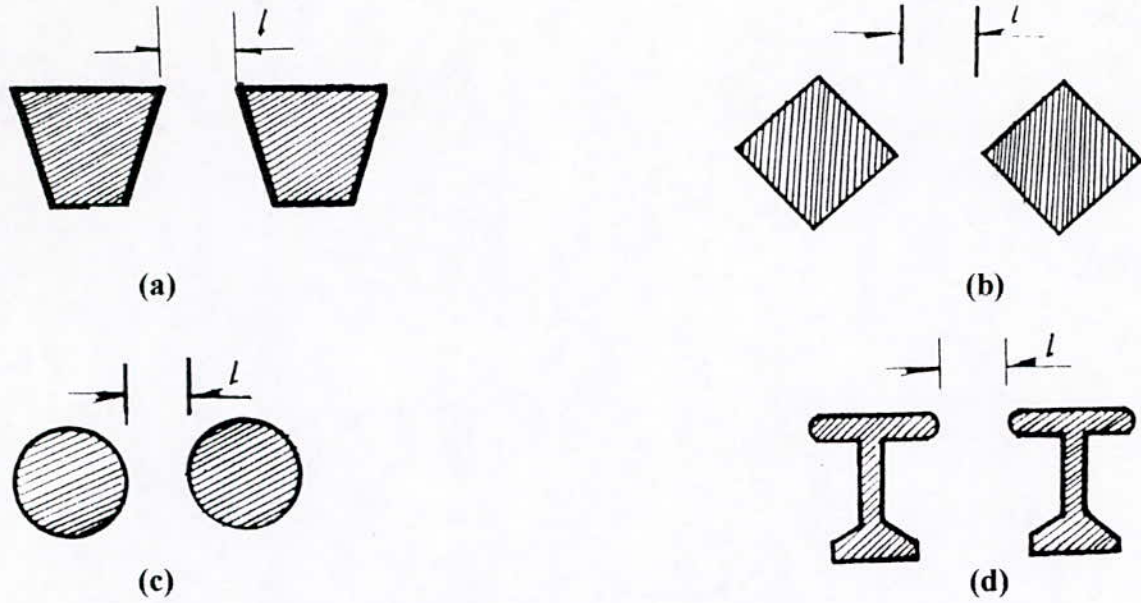


Figure 9 : barreaux profilés avant la section
a- trapézoïde b- carrée c- circulaire d- en T(rails usagées)

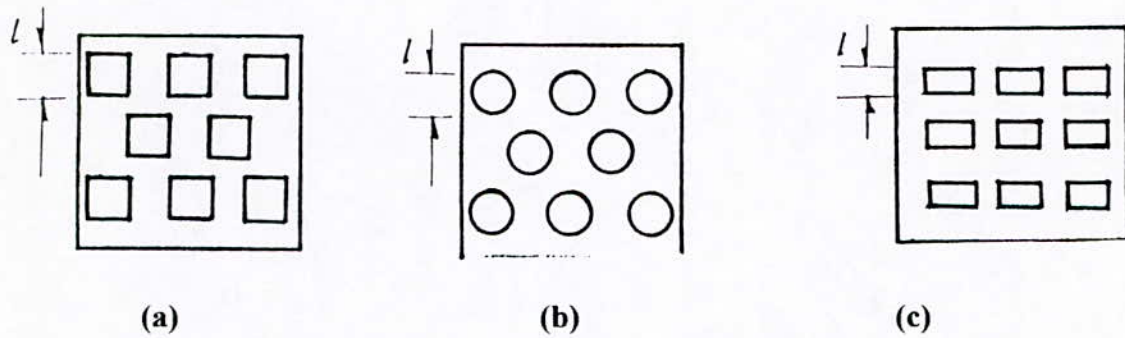


Figure 10 : perforations dans des tôles de forme
(a)- carrée (b)- circulaire (c)- rectangulaire

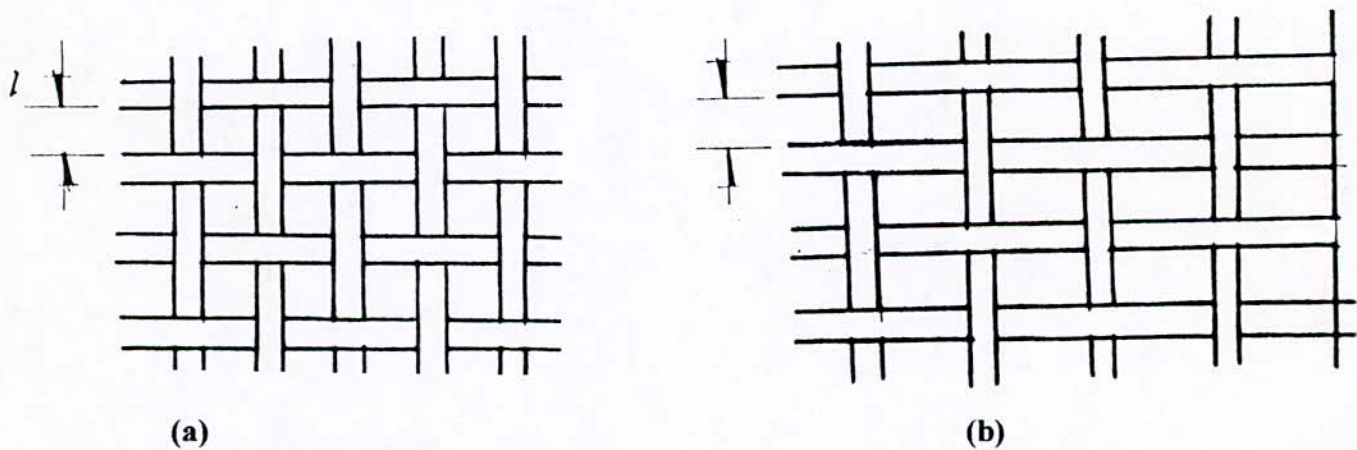


Figure 11 : toiles métalliques tissés à mailles
(a)- carrées (b)- rectangulaires

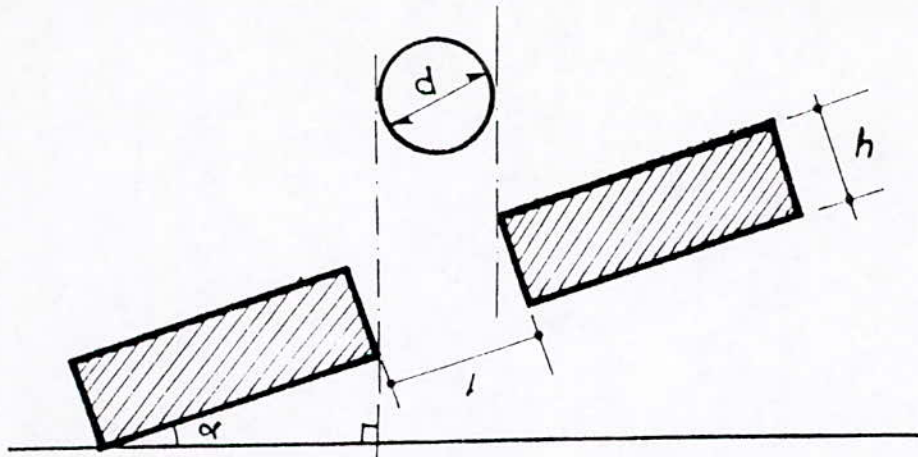


Figure 12 : schéma de passage d'un grains isolé dans un tamis incliné

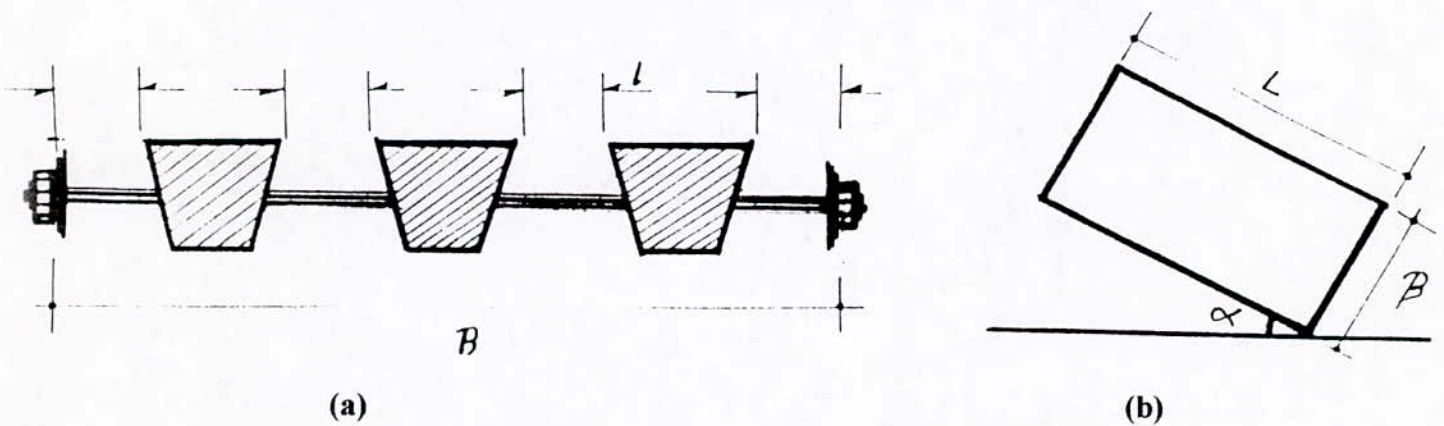
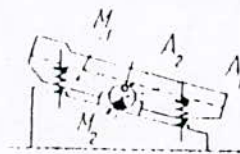


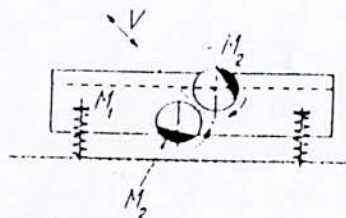
Figure 13 : crible à barreaux fixes
a- vue en coupe b- vue latérale



A_1 axe de rotation de l'arbre
 A_2 axe de rotation de la caisse
 M_1 masse de la caisse
 M_2 balourd de compensation
 (Alignement du point de la caisse)
 (a) commande par arbre excentrique



M_1 masse de la caisse
 M_2 masse du balourd
 (b) commande par arbre balourdé



M_1 masse de la caisse
 M_2 masse des balourds conjugués
 V orientation des vibrations
 (c) commande par deux balourds conjugués (vibrations orientées)

Figure 14 : cribles vibrants



LA PARTIE EXPERIMENTALE

PROBLEMATIQUE DU TRAVAIL

L'objet de notre projet de fin d'étude consiste à réaliser un travail d'orientation dans le domaine de la préparation mécanique du minerai de feldspath potassique du gisement d'AIN BARBAR(W.ANNABA).

Les objectifs que nous nous sommes fixés sont les suivants :

- 1) Prendre connaissance de la documentation disponible et caractériser le minerai.
- 2) Utiliser le matériel de fragmentation et de classification disponible au sein du laboratoire de valorisation de l'ENP(département : Génie Minier).
- 3) Se réfère aux schémas types de concassabilité et de broyabilité couplée à la classification, en considérant les propriétés spécifiques de ce minerai et leur affectation sur le plan industriel.
- 4) Etudier chaque type d'appareillage(concasseur, crible et broyeur) et les paramètres technologiques propres à chacun d'entre eux ; afin de justifier le choix de tel ou tel type d'agrégat, répondant aux aspects économiques(rentabilité et coût).
- 5) Le fait de traiter ce minerai pour obtenir des moutures fines et très fines, il serait judicieux de procéder à une étude comparative du broyage à boulets(voie sèche et voie humide).

En considérant les différents analyses, tests et résultats de laboratoire, la documentation spécialisée, notre but consiste à émettre deux variantes de schémas technologiques de préparation mécanique de ce matériau, en vue de satisfaire à :

- ❖ Une demande en feldspath potassique, avec une monture de $-50\mu\text{m}$, répondant au désir de l'industrie de la céramique
- ❖ Une demande en feldspath potassique, présentant une granulométrie de $-20\mu\text{m}$, répondant aux sollicitations de l'industrie du verre.

Le choix des appareillages fait partie également de prérogatives de notre étude d'orientation.

Chapitre I

**CARACTERISATION DU MINERAI DE
FELDSPHATS POTASSIQUES
D'AIN BARBAR**

I.1. LOCALISATION DU GISEMENT :

Le gisement d'AIN-BARBAR est situé à 20 km au Nord Ouest(NW) de la ville d'ANNABA, c'est une zone qui présente des conditions d'observations satisfaisantes, c'est aussi une zone montagneuse avec un climat subtropical (un été aride et un hiver pluvieux et froid).

Cette zone est l'une des nombreuses zones, présentant plusieurs indices et gisements métalliques ; parmi ces zones on peut citer :

- ◆ Ismail
- ◆ Mrasma(1)
- ◆ Mrasma(2)
- ◆ Guenicha
- ◆ Boumaliza
- ◆ Ain Mokra
- ◆ Champ filonien Guedaa
- ◆ Kabira
- ◆ Zelezella

Les indices métalliques les plus répandus sont : le cuivre Cu, le zinc Zn, le plomb Pb, l'antimoine Sb,...etc.

HISTORIQUE DE LA MINE d'AIN BARBAR :

Les premiers affleurements du filon d'AIN BARBAR ont été découverts par l'ingénieur français « FOURNEILLE » en Mai 1846 ; les travaux de recherche et de prospection furent entamés en 1863. L'exploitation de la partie Nord du filon, riche en chalcopryrite commence alors.

Dès la nationalisation des mines; l'exploitation du gisement d'AIN BARBAR est prise en charge par la société nationale « SONAREM » après qu'elle fut dirigée par des sociétés françaises, sous l'appellation de « Barem».

RESERVES DU GISEMENT :

Ce gisement comprend 15 filons minéralisés ; cependant en 1974 un dyke de feldspaths fut découvert. Les résultats des travaux d'évaluation se répartissent de la manière suivante :

- 382350 tonnes en catégorie sure
- 1797050 tonnes en catégorie probables
- 2108500 tonnes en catégorie possibles.

Ce dyke est situé à 1.5 km du quartier d'AIN TOUTA ; la production de feldspath a commencée en 1976 jusqu'à ce jour.

En premier lieu, le feldspath d'AIN BARBAR ne répond pas aux conditions normatives pour l'utilisation industrielle(fabrication de la céramique et du verre), des essais de valorisation sur un échantillon technologique ont montré que ce feldspath est valorisable

pour une utilisation industrielle. Notons que la demande nationale fut évaluée à 8000 tonnes en 1990.

I.2. ANALYSE MINÉRALOGIQUE :

Les données provenant de la société « ENOF » décrivent la composition minéralogique de notre minerai, comme suit :

Quartz.....	59.6%
Alumine.....	8.7%
Biotite.....	2.9%
Sericite.....	2.2%

Les oxydes : CaO, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂, MnO, BaO, ils représentent environ 21%.

L'analyse minéralogique et pétrographique, réalisée au laboratoire de l'ENP, a porté sur 2 échantillons composites, provenant du gisement d'AIN BARBAR. Ces deux échantillons ont été répertoriés par la société « SOFELD » de la manière suivante :

- Echantillon I : bloc4 +20m
- Echantillon II : bloc4 +4m

L'étude minéralogique et les clichés photographiques figurent dans l'annexe 4.

I.3. ANALYSE CHIMIQUE :

La fiche technique du minerai, transmise par la société « ENOF », indique la composition chimique de l'échantillon, se traduisant par les données figurant dans le tableau suivant :

Composant	Teneur(%)
SiO ₂	74.22-74.93
Al ₂ O ₃	12.50-13.27
CaO	0.56-0.64
Na ₂ O	0.26-1.02
K ₂ O	9.07-9.65
MgO	0.01-0.08
Fe ₂ O ₃	0.6-1.02
TiO ₂	0.03-0.06
MnO	0.005-0.06
Perle au feu	4 - 6

Tableau I.1 : la composition chimique de l'échantillon.

I.4. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES :

Parmi ces propriétés, nous avons réalisé quelques tests opératoires de détermination de certaines d'entre elles à savoir :

- La dureté
- La densité
- Le taux d'humidité
- La porosité

Les résultats apparaissent dans le tableau suivant :

Propriétés	Résultats
Densité	2.55 g/cm ³
Taux d'humidité	0.38%
Porosité	5.9%
Dureté	6-7

Tableau I.2 : résultats des tests opératoires de certaines propriétés de ce minerai.

La procédé de calcul de ces propriétés sont indiquées dans l'annexe3.

La fiche technique du minerai de la société « ENOF » indique les résultats de certaines propriétés de ce minerai, à savoir :

Propriétés	Résultats
La densité	2.2-2.6 g/cm ³
Le taux d'humidité	0.9% max.
La porosité	3.4 -9.7%
L'absorption de l'eau	3.1-8.9%
La température de fusion	1170°C
La perte à la calcination	0.53-1.3%
La dureté	6-7

Tableau I.3 : les propriétés physiques provenant de la société.

I.5. L'ECHANTILLONNAGE :

L'échantillonnage est l'ensemble des opérations qui permet d'obtenir un échantillon ayant les mêmes caractéristiques et la même composition que le lot de départ on peut distinguer deux types d'échantillonnages :

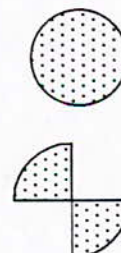
- L'échantillonnage primaire : appelé aussi « prélèvement » ;
- L'échantillonnage secondaire : appelé « partage » .

La technique la plus utilisé est le quartage effectué dans le chantier par une pelle ; et dans le laboratoire par une spatule .

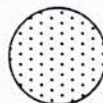
Le quartage contient les opérations suivantes :

1. étalon en galette

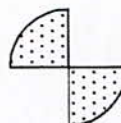
2. prélever 2 quadrants(l'un étant prélever, l'autre étant un témoin)



3. Remélanger en galette



4. prélever 2 quadrants



5. refaire l'opération jusqu'à l'obtention d'un échantillon de poids convenable et choisi.

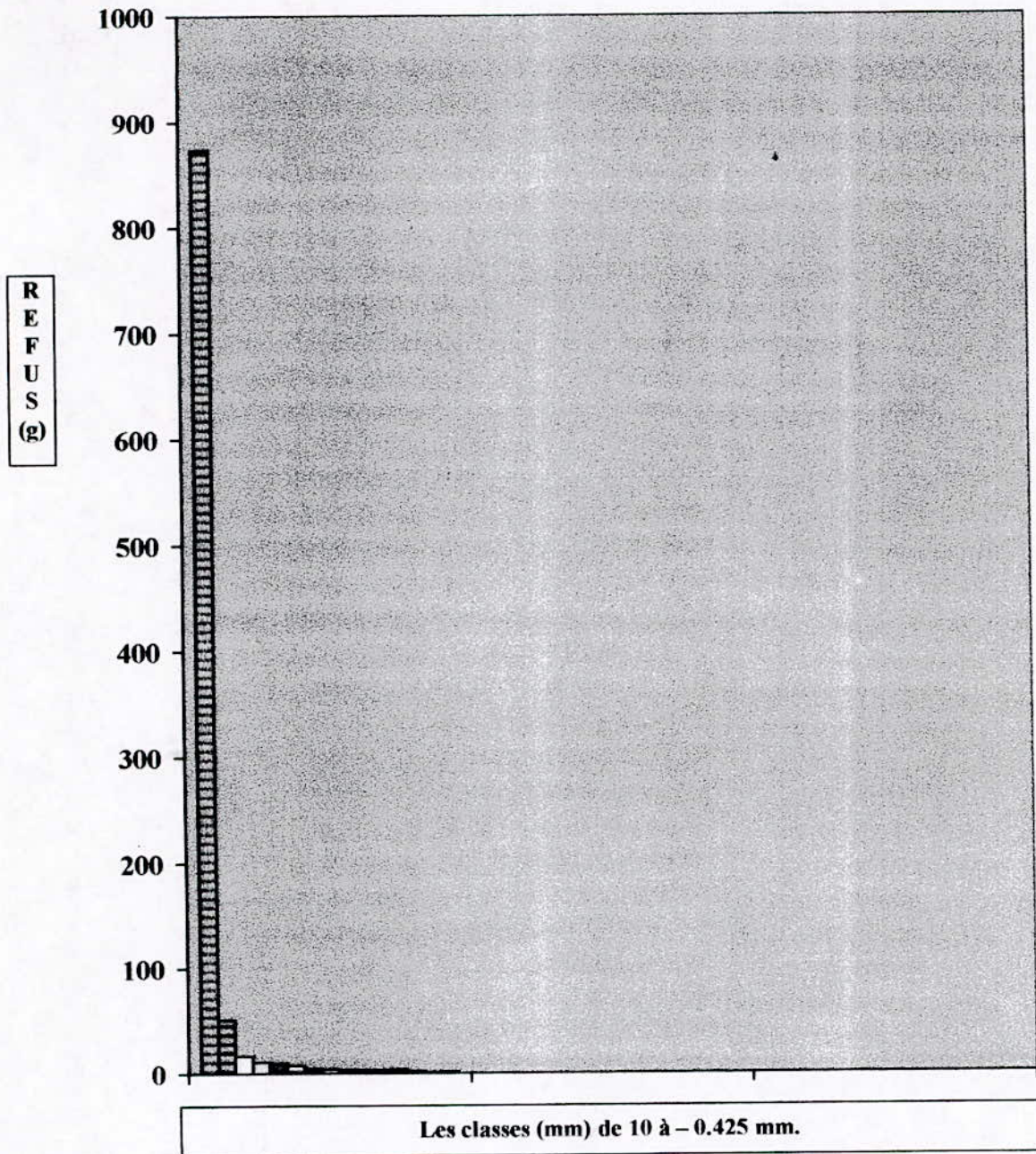
I.7. ANALYSE GRANULOMETRIQUE :

L'analyse granulométrique a été effectuée à l'aide d'une série des tamis de type « AFNOR 3 NFX II-501 » d'ouverture carrée variant entre : 10 et 0.425 mm. Le refus de chaque tranché a été pesé ; le calcul de pourcentage de chaque classe porte le nom de « rendement » ou refus(%) ; ce qui conduit à calculer le refus cumulé et le passant cumulé.

Les données de cette analyse sont résumées dans les tableaux suivants :

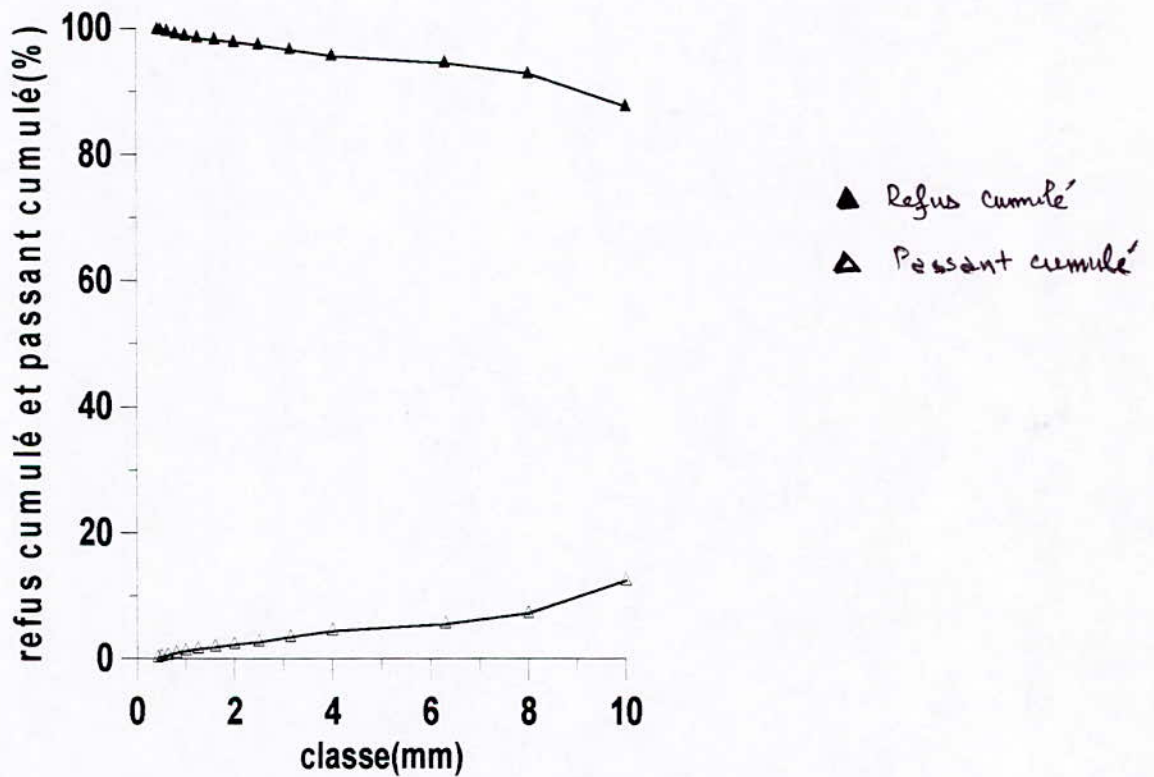
Tableau I.4 :L'analyse granulométrique du minéral concassé à 40mm

Classe(mm)	Refus(g)	Refus(%)	Refus cumulé(%)	Passant cumulé(%)
10	873.1	87,59	87,59	12,40
8	51.7	5,18	92,78	7,21
5	16.8	1,68	94,47	5,52
4	11.1	1,11	95,58	4,41
3.15	9.9	0,99	96,57	3,42
2.5	7.8	0,78	97,36	2,63
2	4.1	0,41	97,77	2,22
1.6	3.6	0,36	98,13	1,86
1.25	3.4	0,34	98,47	1,52
1	3.2	0,32	98,79	1,20
0.8	3.1	0,31	99,10	0,89
0.63	3.9	0,39	99,49	0,50
0.5	2.1	0,21	99,70	0,29
0.425	1.1	0,11	99,81	0,18
<0.425	1.8	0,18	100	0
total	996.7	99.99		



Répartition des grains après concassage à 40 mm

variation des refus cumulé et passant cumulé en fonction de la classe



Si on réfère à 99.99%(pertes de l'ordre de 0.01%), on peut dire que ce concassage ne présente pas une grande sélectivité, car on obtient 15.2% de grains, répondant à des dimensions < 1mm. Ce qui nous conduit à prévoir un concassage secondaire afin d'augmenter le rendement pondéral de cette fraction granulométrique.

Chapitre II

ETUDE DE CONCASSAGE

I. MODE OPERATOIRE :

1^{ère} phase le préconcassage :

C'est une opération de préparation des échantillons (composites), à partir des blocs de dimension comprises entre 25 et 40 cm ; cette étape est réalisée en trois parties :

- ❖ Une fragmentation à la masse : consiste à diminuer les dimensions des blocs initiaux afin d'obtenir des blocs de dimension comprises entre 5 et 10 cm ;
- ❖ Un préconcassage par le concasseur à mâchoires avec l'ouverture maximale des mâchoires 40 mm (4 cm) ;
- ❖ Un quartage pour prélever plusieurs échantillons de 1 kg .
- ❖

2^{ème} phase le concassage primaire :

Effectué au concasseur à mâchoires ; les ouvertures moyennes entre les mâchoires étant 20, 15, 6, 4 mm.

3^{ème} phase le concassage secondaire :

Nous proposons d'envisager l'utilisation de deux types de concasseur :

- ❖ un concasseur à mâchoires (avec les mêmes ouvertures sont les mêmes dans le concassage primaire), ce concasseur est de type laboratoire d'ouverture minimale 1 mm.
- ❖ un concasseur à cylindres : entre les deux cylindres, on réglera par déplacement des vis de blocage le cylindre mobile, tout en vérifiant le parallélisme des deux cylindres tournants. Nous proposons les ouvertures suivantes : $d = 4, 3, 2, 5$ et 2 mm.

II. LE CONCASSAGE A MACHOIRES :

A/ Résultats de concassage primaire:

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	846.3	84.68
8	63.4	6.34
5	23.9	2.39
4	12.8	1.28
3.15	10.9	1.09
2.5	8.5	0.85
2	4.7	0.47
1.6	5.7	0.57
1.25	4.1	0.41
1	3.7	0.37
<1	15.4	1.54
Total	999.4	99.99

D=15mm-R=3,76

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	187.2	18.82
8	213.5	21.47
5	133.2	13.39
4	68.7	6.91
3.15	70.8	7.12
2.5	50.4	5.06
2	38.6	3.88
1.6	29.1	2.92
1.25	31.1	3.12
1	24.5	2.46
<1	147.1	14.79
Total	994.2	99.99

D=6mm-R=41,

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	82.8	8.33
8	217.7	21.91
5	161.2	16.23
4	75.7	7.62
3.15	94.3	9.49
2.5	49.3	4.96
2	46.4	4.67
1.6	51.1	5.14
1.25	28.1	2.82
1	23.4	2.35
<1	163.2	16.43
Total	993.2	99.99

D=4mm-R=4,46

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	26.1	2.74
8	25.6	2.69
5	61.5	6.47
4	75.1	7.51
3.15	192.1	20.21
2.5	69.8	7.34
2	85.6	9.00
1.6	101.3	10.65
1.25	48.1	5.06
1	42.6	4.48
<1	222.5	23.41
Total	950.3	99.99

D=2mm-R=7,91

B/ Résultats de concassage secondaire :

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	8.3	0.83
8	9.4	0.94
5	22.6	2.26
4	36.3	3.64
3.15	59.1	5.92
2.5	40.7	4.08
2	68.7	6.88
1.6	129.1	12.94
1.25	155.7	15.61
1	101.4	10.16
0.8	87.4	8.76
0.63	62.1	6.22
0.5	46.4	4.65
0.425	60.4	6.05
<0.425	109.5	10.98
Total	997.1	99.99

D=2mm,R=2,91

III. CONCASSAGE A CYLINDRES :

Le concasseur à cylindres a été utilisé seulement pour le concassage secondaire.

Les ouvertures entre les cylindres ont été réglé à 2- 2,5 - 3 - 4: ; les résultats de l'analyse granulométrique sont :

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	6.7	0.67
8	8.1	0.81
5	21.5	2.15
4	33.6	3.37
3.15	56.7	5.69
2.5	39.1	3.92
2	66.1	6.63
1.6	126.7	12.72
1.25	153.7	15.43
1	99.1	9.95
0.8	81.6	8.19
0.63	65.1	6.53
0.5	51.6	5.18
0.425	63.5	6.37
<0.425	122.5	12.3
Total	995.6	99.99

D=4mm,R=2.5-3.3

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	5.9	0.59
8	6.1	0.61
5	17.4	1.74
4	29.4	2.95
3.15	50.4	5.06
2.5	36.3	3.64
2	50.1	5.03
1.6	104.3	10.47
1.25	160.7	16.13
1	131.4	13.19
0.8	83.4	8.37
0.63	66.1	6.63
0.5	56.6	5.68
0.425	66.1	6.63
<0.425	131.6	13.21
Total	995.8	99.99

D=3mm,R=5-6.6

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	5.3	0.53
8	6.0	0.60
5	16.8	1.68
4	26.8	2.69
3.15	48.6	4.87
2.5	30.6	3.07
2	41.6	4.17
1.6	83.3	8.36
1.25	165.7	16.63
1	140.6	14.11
0.8	85.6	8.59
0.63	68.1	6.83
0.5	58.7	5.89
0.425	68.7	6.89
<0.425	149.8	15.03
Total	996.2	99.99

D=2.5mm,R=9.1-15.4

Classe granulométrique(mm)	Refus (g)	Refus (%)
10	4.1	0.41
8	5.5	0.55
5	13.1	1.31
4	21.4	2.14
3.15	42.3	4.24
2.5	40.1	4.02
2	31.9	3.20
1.6	70.7	7.09
1.25	169.1	16.98
1	148.9	14.95
0.8	88.1	8.84
0.63	70.1	7.03
0.5	60.8	6.20
0.425	70.1	7.03
<0.425	159.6	16.02
Total	995.8	99.99

D=2mm,R=15-20

III. CONCLUSION :

De la comparaison entre les deux types de concassages on peut tirer les conclusions suivantes :

- le concassage secondaire à un rendement supérieur à celui du concassage primaire.
- Le concasseur à cylindres est plus efficace que le concasseur à mâchoires, car il joue un double rôle :celui d'un concasseur et celui d'un broyeur dans le même laps de temps.

Chapitre III

ETUDE DE BROYAGE

I. MODE OPERATOIRE :

1^{ERE} Phase : le broyage à sec :

Elle contient l'étude de l'influence des paramètres technologiques sur la rentabilité de l'opération :

- ❖ La durée du broyage(temps)
- ❖ La masse broyante(les boulets)

Pour cette étude ; on a réalisé des tests, en considérant les variantes suivantes :

- ❖ Variante 1 : $M_B=1793.1g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes
- ❖ Variante 2 : $M_B=2386.8g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes
- ❖ Variante 3 : $M_B=3373.8g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes
- ❖ Variante 4 : $M_B=3936.1g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes
- ❖ Variante 5 : $M_B=5441.6g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes
- ❖ Variante 6 : $M_B=6921.6g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes
- ❖ Variante 7 : $M_B=8548.7g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes
- ❖ Variante 8 : $M_B=9415.6g$; $T=[15,30,45,60]$ minutes

Ces expériences s'adressent aux deux types de minerai concassé provenant du :

- ❖ Concassage primaire et secondaire à l'aide d'un concasseur à mâchoires ;
- ❖ Concassage primaire au moyen concasseur à mâchoires et secondaire par le concasseur à cylindres.

2^{EME} Phase : le broyage humide :

On prend $M_B= M_{B 8} =9415.6g$; et le temps optimal $T= 30$ minutes ; avec deux autres valeurs $T_1= 15$ minutes $T_2= 20$ minutes .

Pour cette phase on varie le rapport liquide/solide 60, %30: % et 90%, pour les deux types de concassage.

Le rapport liquide/solide est un nouveau paramètre optimisable, pouvant traduire une évolution dans le rendement pondéral, dans la mesure où le minerai concassé répond bien aux diverses sollicitations de ce type d'opération.

II. LE BROYAGE A SEC :

II.1. TESTS ET RESULTATS :

Les résultats du travail sont indiqués dans l'annexe 1.

II.2. VARIATION DE LA MASSE DES GRAINS $-50\mu\text{m}$ et $-20\mu\text{m}$ EN FONCTION DE LA DUREE DE RETENTION ET DE LA MASSE BROYANTE :

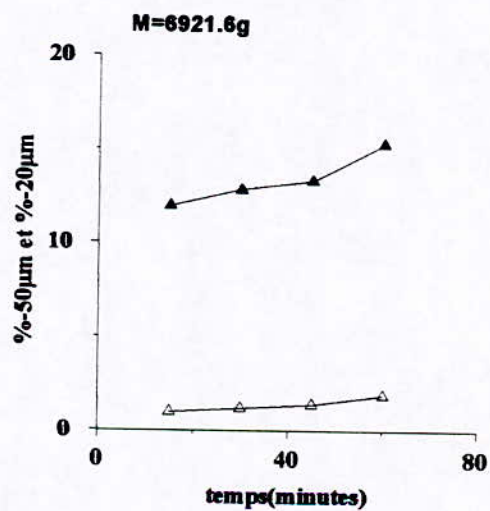
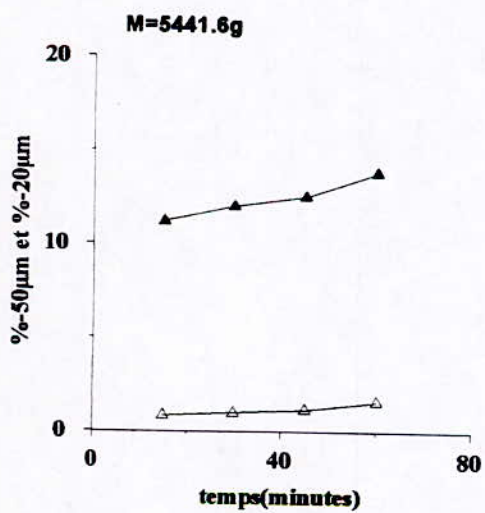
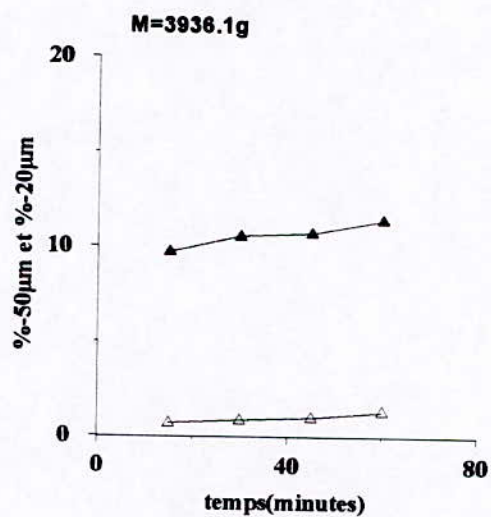
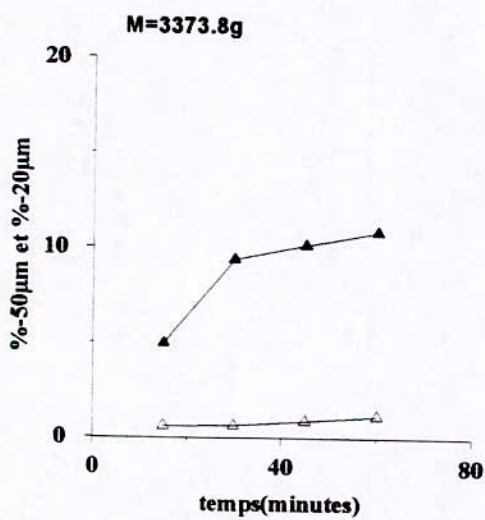
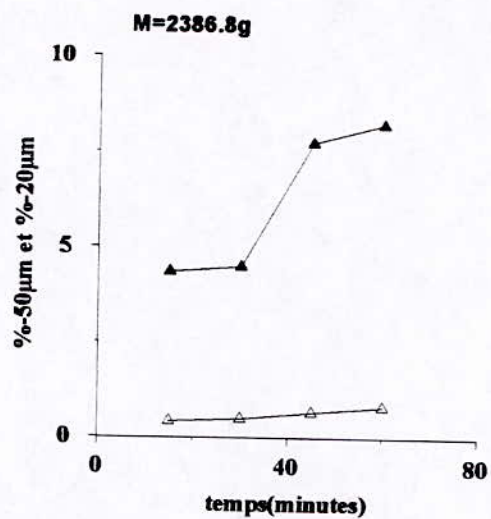
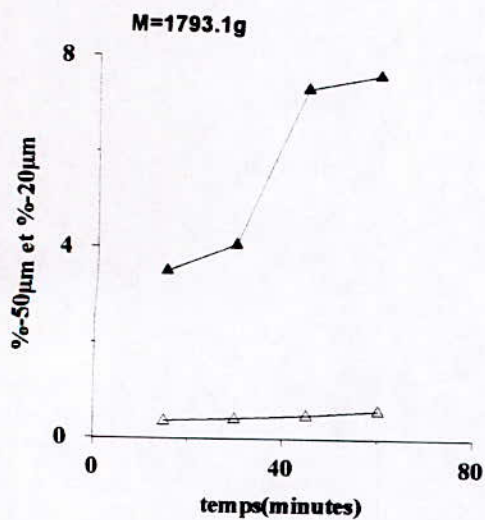
I- Le premier concassage :

temps (min)	M=1793.1 g		M=2386.8 g		M=3373.8 g		M=3936.1 g	
	% - 50 μm	% - 20 μm	% - 50 μm	% - 20 μm	% - 50 μm	% - 20 μm	% - 50 μm	% - 20 μm
15	3.5	0.35	4.34	0.41	4.95	0.6	9.7	0.67
30	4.05	0.4	4.47	0.48	9.37	0.63	10.54	0.84
45	7.31	0.47	7.73	0.65	10.11	0.86	10.70	0.98
60	7.61	0.58	8.22	0.8	10.82	1.13	11.41	1.31

temps (min)	M=5441.6 g		M=6921.6 g		M=8548.7 g		M=9415.6 g	
	% - 50 μm	% - 20 μm	% - 50 μm	% - 20 μm	% - 50 μm	% - 20 μm	% - 50 μm	% - 20 μm
15	11.17	0.83	11.94	0.96	25.23	6.27	30.9	10.79
30	11.97	0.97	12.8	1.17	28.86	8.78	47.3	20.9
45	12.48	1.12	13.3	1.37	31.51	10.41	47.27	20.87
60	13.77	1.57	15.27	1.87	33.5	12.1	47.25	20.86

II- le deuxième concassage :

Temps (min)	M=9415.6 g	
	% -50 μm	% -20 μm
15	45.21	20.02
30	60.31	27.12
45	59.99	27.1
60	59.97	27.1



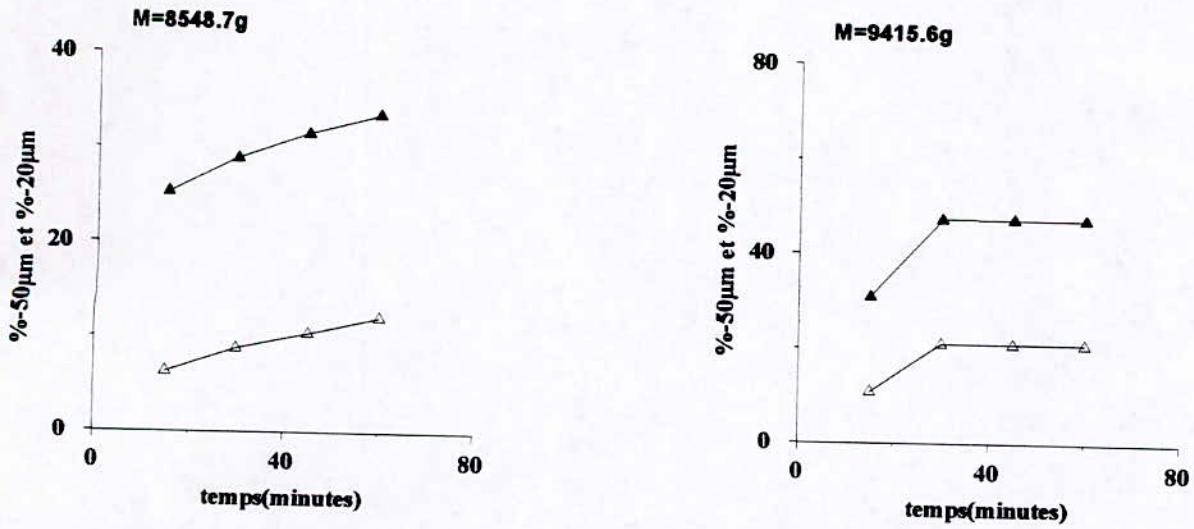


Figure1 :variation des %-50µm et %-20µm en fonction du temps(premier concassage)

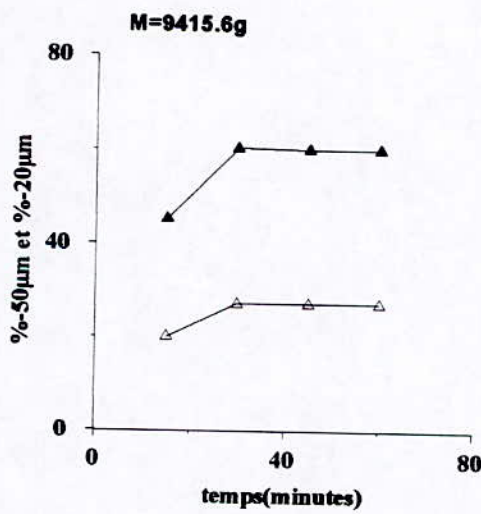


Figure2 :variation des %-50µm et %-20µm en fonction du temps(deuxième concassage)

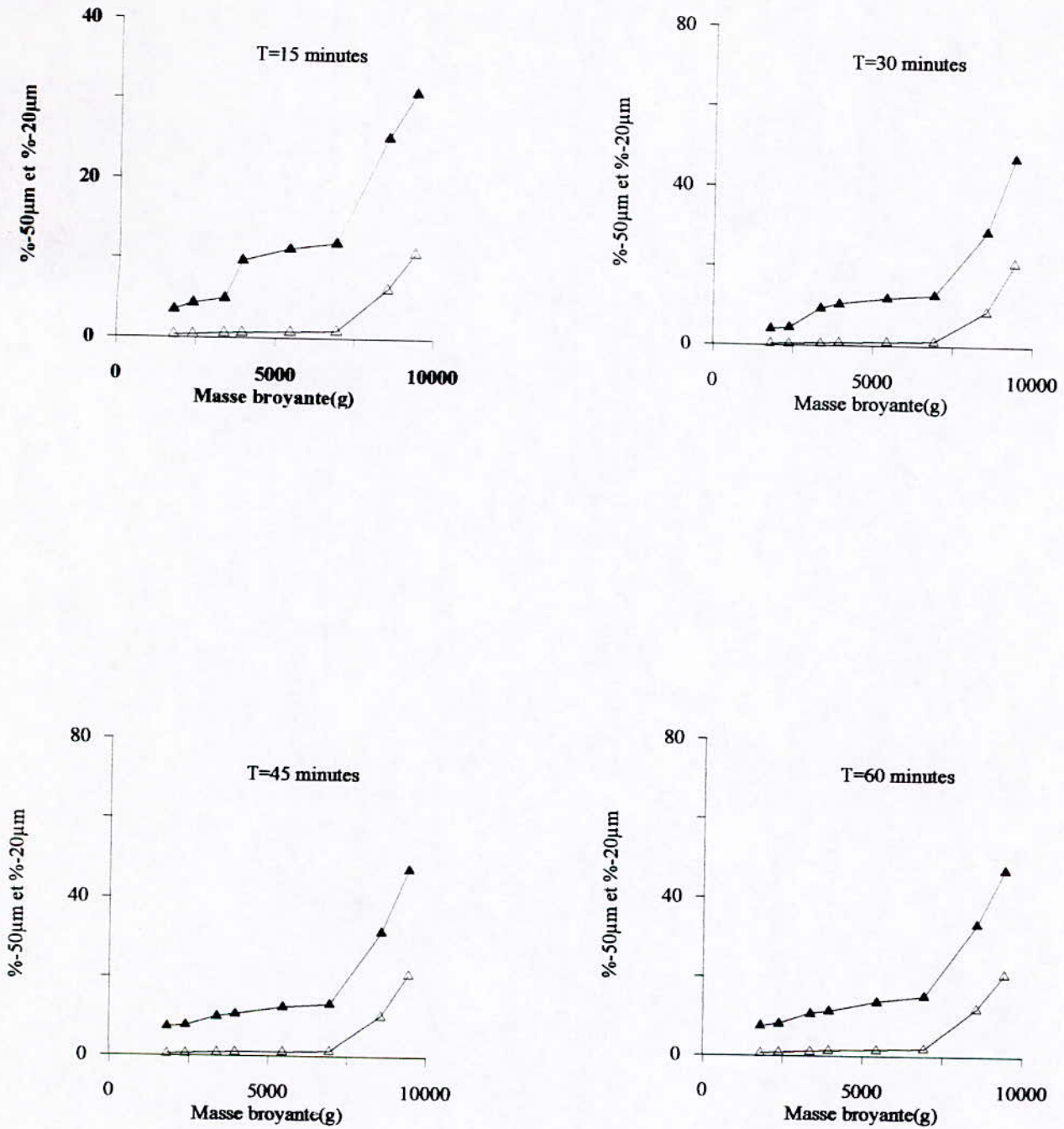


Figure 3 : variation des %-50µm et %-20µm en fonction de la Masse Broyante(premier concassage).

REMARQUE : Pour le deuxième concassage M=9415.6g.

II.3. CONCLUSION :

L'allure des graphes précédentes nous amène aux conclusions suivantes :

* le paramètre technologique le plus influant sur la rentabilité du broyage à sec est la masse broyante ; car les proportions de $-50\mu\text{m}$ et de $-20\mu\text{m}$ augmentent avec l'augmentation de la masse broyante ; mais cependant pour la durée, après 30 minutes on ne constate pas de grande variation au niveau des proportions en % de matériau répondant aux granulométries $-50\mu\text{m}$ et $-20\mu\text{m}$.

* le deuxième concassage fournit de meilleurs résultats que le premier concassage.

III. LE BROYAGE HUMIDE :

III.1. TESTS ET RESULTATS:

Les résultats sont indiqués dans l'annexe2.

III.2. VARIATION DE LA MASSE DES GRAINS EN FONCTION DU L/S :

I- le premier concassage :

	T ₁ =15 minutes		T ₂ =20 minutes		T ₃ =30 minutes	
L/S	% -50µm	% -20µm	% -50µm	% -20µm	% -50µm	% -20µm
30%	49.62	12.24	49.78	12.4	50.74	12.95
60%	54.02	14.5	53.77	14.77	57.22	16.13
90%	56.81	15.84	57.2	16.11	60.61	17.26

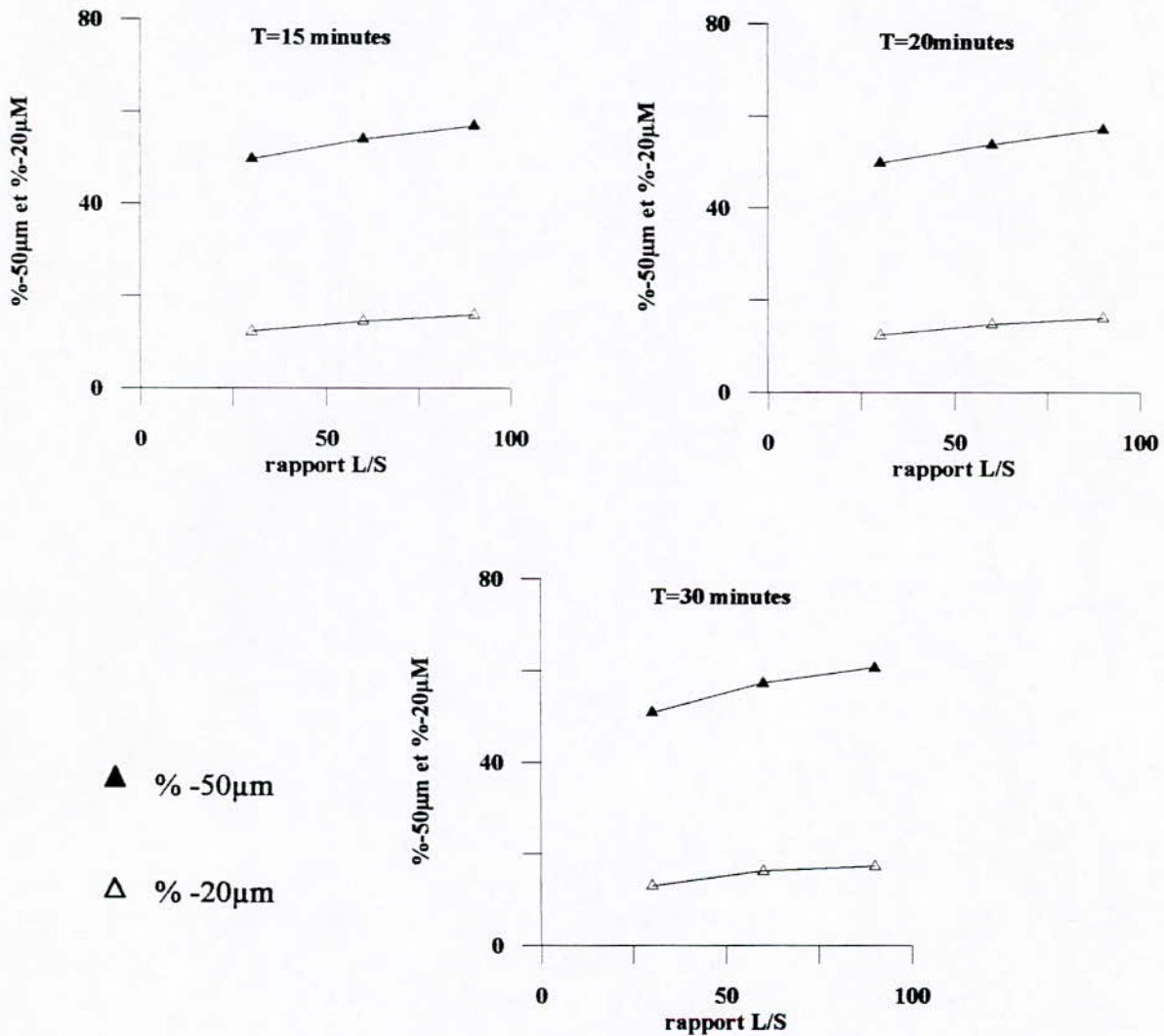


Figure 3 : variation des % -50µm et % -20µm en fonction du rapport L/S (premier concassage).

II- le deuxième concassage :

	T ₁ =15 minutes		T ₂ =20 minutes		T ₃ =30 minutes	
L/S	% -50µm	% -20µm	% -50µm	% -20µm	% -50µm	% -20µm
30%	52.8	13.8	54.24	14.31	54.57	14.5
60%	62.44	16.08	64.01	16.18	65.88	17.26
90%	61.64	15.17	64.26	16.32	65.76	17.22

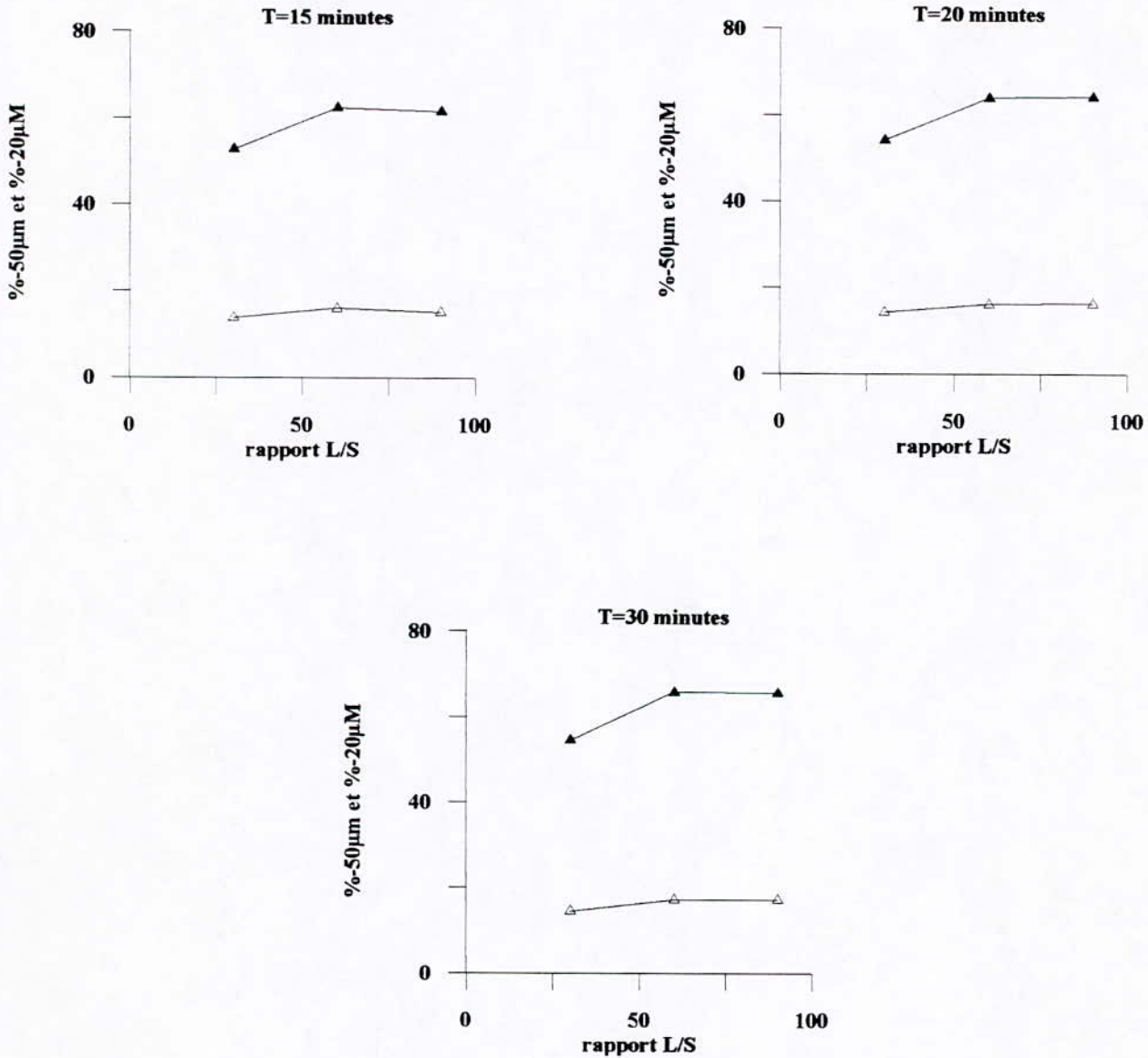


Figure4 : variation des %-50µm et %-20µm en fonction du rapport L/S (deuxième concassage).

III.3. CONCLUSION :

L'allure des graphes présentant la variation des proportions en matériau répondant aux granulométries de $-50\mu\text{m}$ et $-20\mu\text{m}$, en fonction du rapport L/S, nous conduit aux conclusions suivantes :

- Le rapport L/S influe sur la rentabilité du broyage humide ; la rentabilité augmente avec l'augmentation du L/S ; mais après 60% (L/S=60%) ; la quantité des $-50\mu\text{m}$ et $-20\mu\text{m}$ devient un peu stable.
- Le broyage humide fournit des meilleurs résultats pour les grains répondant à la granulométrie $-50\mu\text{m}$.
- Le broyage sec fournit des meilleurs résultats pour les grains de $-20\mu\text{m}$.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

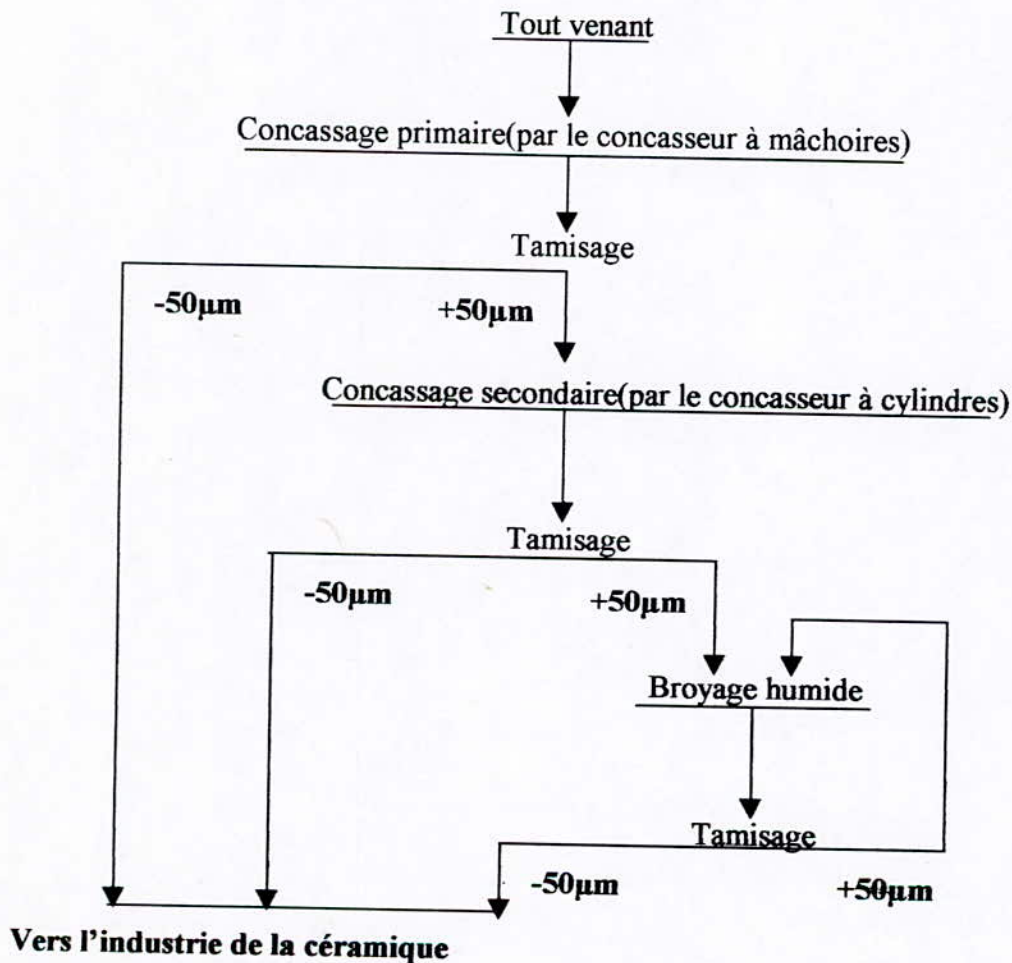
L'objet de notre PFE a consisté à réaliser un travail d'orientation dans le domaine de la préparation mécanique des feldspaths potassiques du gisement d'AIN BARBAR.

Trois étapes traduisent notre démarche, à savoir :

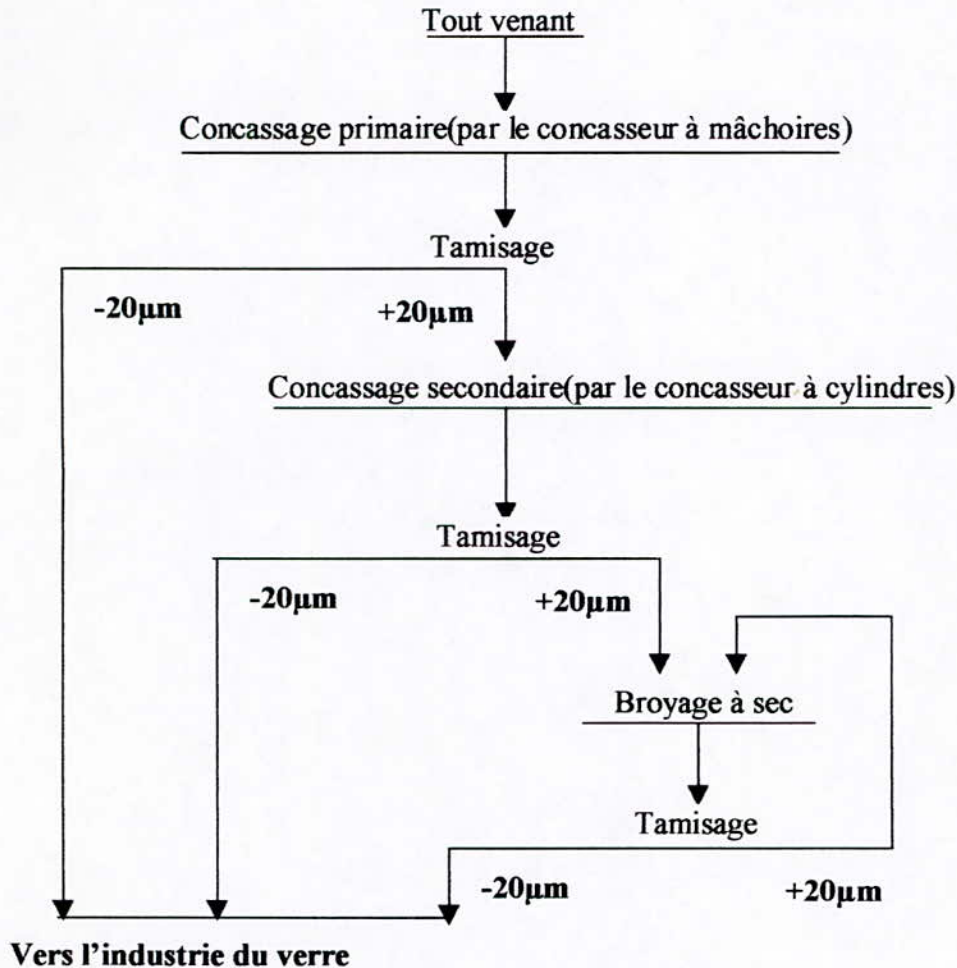
- (i) 1^{re} étape : caractérisation du minerai ;
- (ii) 2^{ème} étape : étude de concassabilité couplée à une classification ;
- (iii) 3^{ème} étape : étude de broyabilité couplée à une classification.

Les résultats des différents tests au laboratoire de valorisation de l'ENP nous conduisent à proposer deux schémas technologiques susceptibles de répondre aux besoins des céramistes et des verriers. Les schémas technologiques proposés sont les suivants :

Premier schéma : pour l'industrie de la céramique



Deuxième schéma : pour l'industrie du verre



Si nous considérons les paramètres technologiques investigués pour le concassage et le broyage, nous avons retenu ceux, qui permettent d'obtenir des rendements pondéraux maxima. Nous proposons de retenir les résultats suivants :

- ❖ Pour le concassage :
 - Le concassage primaire par le concasseur à mâchoires avec une ouverture de 2 mm.
 - Le concassage secondaire par le concasseur à cylindres avec une ouverture de 2mm
- ❖ Pour le broyage :
 - Le broyage à sec avec une masse broyante de $M=9415.6g$ et un temps de 30 minutes.
 - Le broyage humide avec une masse broyante de $M=9415.6g$ et un temps de 30 minutes et un rapport $L/s=60\%$.

Comme recommandations, nous suggérons que cette étude d'orientation est à compléter.

Ne disposant pas de moyens analytiques adéquats, il aurait été intéressant de réaliser une analyse granulochimique au niveau du concassage et du broyage des éléments valorisables et des principales impuretés inclus dans la roche.



ANNEXES

RESULTATS DU BROYAGE A SEC

A- Concassage primaire et secondaire par le concasseur à mâchoires

M_B=1793.1g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	962.7	957.7	926.1	921.9
-50+20µm	31.4	36.5	68.3	70.1
-20µm	3.5	3.9	4.7	5.8
Total	997.6	998.1	999.1	997.8

M_B=2386.8g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	954.9	954.1	921.6	916.6
-50+20µm	39.3	39.9	70.7	74.2
-20µm	4.1	4.8	6.5	7.9
Total	998.3	998.8	998.8	998.7

M_B=3373.8g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	949.2	904.8	897.0	888.8
-50+20µm	43.5	87.2	92.3	96.7
-20µm	5.9	6.3	8.6	11.2
Total	998.6	998.3	997.9	996.7

M_B=3936.1g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	900.8	892.5	892.2	883.7
-50+20µm	90.1	96.8	97.1	101.1
-20µm	6.7	8.4	9.8	13.1
Total	997.6	997.7	999.1	997.9

M_B=5441.6g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	885.7	878.6	872.4	858.7
-50+20µm	103.1	109.8	113.4	121.6
-20µm	8.3	9.7	11.1	15.6
Total	997.1	998.1	996.9	995.9

Annexe 1 : résultats du broyage sec

M_B=6921.6g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	878.8	869.3	865.0	844.0
-50+20µm	109.6	115.8	119.1	133.4
-20µm	9.6	11.7	13.7	18.7
Total	998.0	996.8	997.8	996.1

M_B=8548.7g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	687.5	644.5	632.1	621.5
-50+20µm	189.1	200.4	210.1	213.4
-20µm	120.6	152.9	153.4	161.9
Total	997.6	997.8	995.6	996.8

M_B=9415.6g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	600.4	497.7	497.8	498.1
-50+20µm	200.9	262.9	262.8	262.9
-20µm	187.6	238.1	237.8	237.9
Total	988.9	998.7	998.4	998.9

B- Concassage primaire par le concasseur à mâchoires et secondaire par le concasseur à cylindres

M_B=9415.6g

	15min	30min	45min	60min
+50µm	547.7	396.7	400.1	400.1
-50+20µm	251.9	331.9	328.9	328.7
-20µm	200.1	271.1	270.9	270.9
Total	999.7	999.7	999.8	999.7

RESULTATS DU BROYAGE HUMIDE

I- le premier concassage :

T₁= 15 minutes			
L/S	30%	60%	90%
Classe(µm)			
+50	500.1	455.5	428.1
-50+20	371.1	391.6	406.1
-20	121.6	143.6	157.1
Total	992.8	990.7	991.3

T₂= 20 minutes			
L/S	30%	60%	90%
Classe(µm)			
+50	499.8	454.1	425.3
-50+20	371.9	383.1	408.2
-20	123.4	145.1	160.1
Total	995.1	982.3	993.6

T₃= 30 minutes			
L/S	30%	60%	90%
Classe(µm)			
+50	490.8	425.9	392.1
-50+20	376.6	409.1	431.6
-20	129.1	160.6	171.9
Total	996.5	995.6	995.6

Annexe 2 : résultat du broyage humide

B- le deuxième concassage :

T₁= 15 minutes			
L/S	30%	60%	90%
Classe(µm)			
+50	468.9	373.3	381.2
-50+20	387.3	460.9	461.7
-20	137.1	159.9	150.8
Total	993.3	994.1	993.7

T₃= 30 minutes			
L/S	30%	60%	90%
Classe(µm)			
+50	450.1	338.2	339.7
-50+20	397.1	481.9	481.7
-20	143.6	171.1	170.9
Total	990.8	991.2	992.3

T₂= 20 minutes			
L/S	30%	60%	90%
Classe(µm)			
+50	454.1	357.6	354.4
-50+20	396.3	475.4	475.5
-20	142.1	160.8	161.9
Total	992.5	993.8	991.8

**TESTS OPERATOIRES DE LA DETERMINATION DES PROPRIETES PHYSIQUES
DE L'ÉCHANTILLON**

1. LA DENSITE :

La densité est donnée par $d = \frac{\rho_{\text{échantillon}}}{\rho_{\text{eau}}}$, avec : $\rho_{\text{échantillon}}$ est calculée par le rapport de la masse et le volume de l'échantillon : pour ce calcul, on a testé trois échantillons et les résultats sont résumés dans la tableau suivant :

La masse (g)	7.9	16.2	18.8
Le volume (cm ³)	7.1	13.9	15.9
La masse volumique(g/cm ³)	1.11	1.16	1.16

$$\rho_{\text{moy}} = (1.11 + 1.16 + 1.16) / 3 = 1.15 \text{ g/cm}^3$$
$$d = 1.15$$

2. LE TAUX D'HUMIDITE :

le taux d'humidité est défini par : le pourcentage de l'eau contenue dans un échantillon (pour ceci on a séché un échantillon de masse M_1 , le séchage est réalisé à 103°C, la masse de l'échantillon a la fin est M_0 après 2 heures de séchage).

$$M_1 = 717.9 \text{ g}$$

$$M_0 = 715.4 \text{ g}$$

$$T = (M_1 - M_0) * 100 / M_1 = (717.9 - 715.4) * 100 / 717.9 = 0.34\%$$

3. LA DURETE :

La dureté est définie par la résistance d'un minéral à la rayure ou à l'abrasion ; elle dépend de la structure cristalline et des forces de liaisons entre les atomes. Dans l'échelle de MOHS chaque minéral raye le précédent et il est rayé par le suivant.

1. TALC $\text{Mg}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	6. ORTHOSE $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_2)$
2. GYPSE $\text{CaCO}_4\text{H}_2\text{O}$	7. QUARTZ SiO_2
3. CALCITE CaCO_3	8. TOPAZE $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}_8\text{OH}_2)$
4. FLUORINE CaFe	9. CORINDON Al_2O_3
5. APATITE $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)\text{F}$	10. DIAMANT C

ECHELLE DE MOHS.

Pour notre échantillon, il raye l'orthose et il est rayé par le quartz donc sa dureté est $6 < d < 7$.

5.LA POROSITE :

La procédure de calcul de la porosité est la suivante :

- ◆ On chauffe (séchage) un échantillon de 1 Kg dont il contient environ 10g des petits grains, le séchage se fait à 103°C.
- ◆ On maintient cet échantillon jusqu'à une masse constante.
- ◆ Peser l'échantillon sec, et soit M_0 sa masse sèche.
- ◆ Remplir les pores par l'eau : c'est de le placer dans l'eau froide et porter à l'ébullition pendant deux heures.
- ◆ Peser de nouveau, après le retirer de l'eau, et l'essuyer avec un chiffon, soit M_1 sa nouvelle masse.

Donc

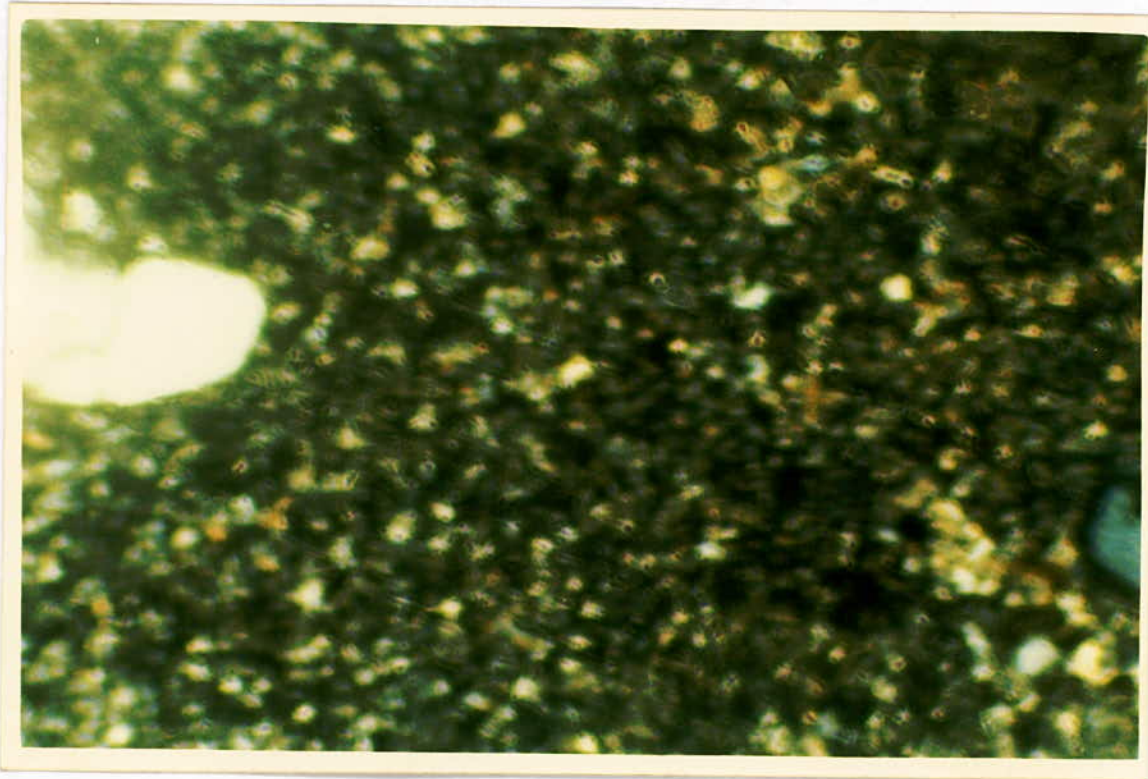
$$P = (M_1 - M_0) \cdot \rho \cdot 100 / M_0$$

$$P = (1020.8 - 970.3) \cdot 1.15 \cdot 100 / 970.3 = 5.98\%$$

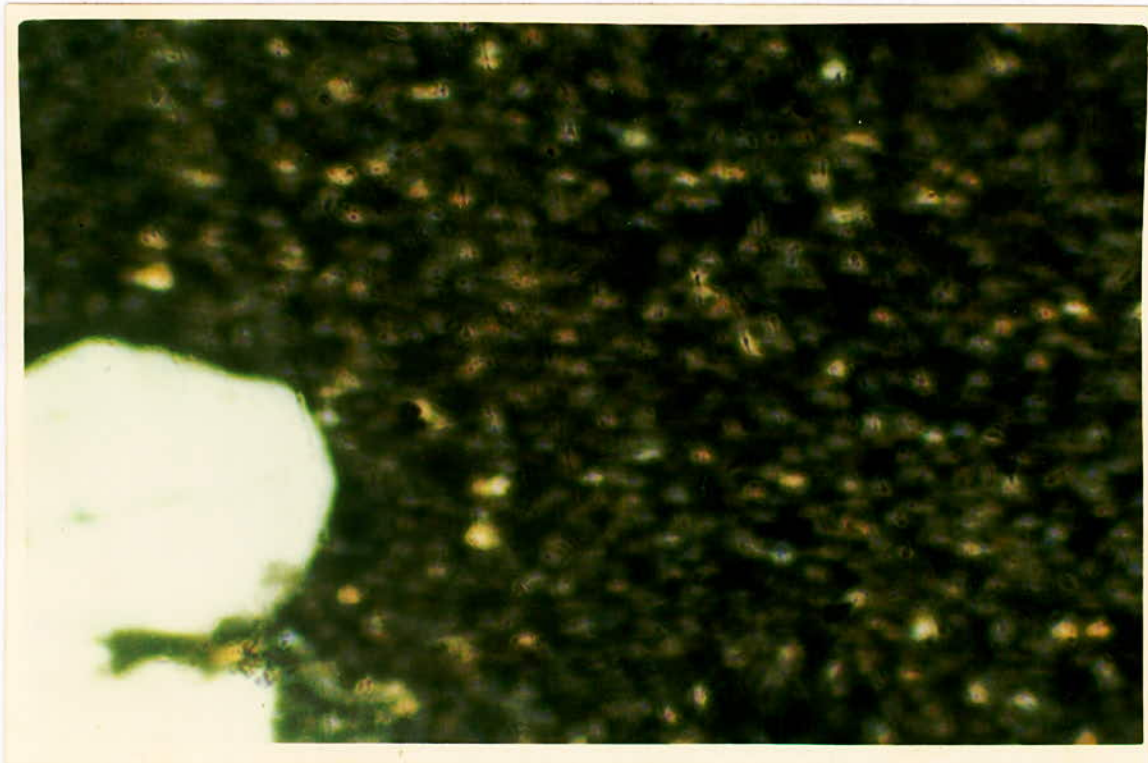
$$P = 5.98\%$$

Annexe 4 : l'analyse minéralogique

L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE :



Echantillon N°: Agrandissement = 100



Echantillon N°: Agrandissement = 100

Le motif des feldspaths potassiques est constitué par des anneaux de quatre tétraèdres SiO_4 ou AlO_4 :

Les minéraux associés aux feldspaths sont :

- ❖ L'orthose
- ❖ Le quartz
- ❖ L'albite
- ❖ Les perthites
- ❖ L'anorthite
- ❖ La rutile
- ❖ La peroclase
- ❖ L'hématite

Du point de vue minéralogique, les feldspaths sont des tectosilicates et forment un groupe très homogène.

Les multiples travaux expérimentaux qui ont éclairci tous ces minéraux permettent d'utiliser les feldspaths comme de bons " thermomètres géologiques".

BIBLIOGRAPHIE

- 📖 [1] : **Valorisation des minerais.** P.BLAZY
Presses universitaires, France,1970.
- 📖 [2] : **Cours de traitement des minerais.** M. OULD HAMMOUI
ENP, 1996/1997.
- 📖 [3] : **Choix des schémas de concassage et de broyage.** A. SAADA.
ENP,1995.
- 📖 [4] : **Mise en valeur des gisements métallifères.** J. SANDIER.
Masson,1962.
- 📖 [5] : **Préparation mécanique du quartz aurifère du gisement de TEKOUYET.**
PEF-1996 A. SAIHI.
- 📖 [6] : **Revue technique de l'ingénieur.**
- 📖 [9] : **Rapport de stage pratique à l'UREG- BOUMERDES.** N. GUERROUMI
ENP, Septembre 1986.
- 📖 [8] : **Rapport de stage pratique à SONAREM-AIN BARBAR.** S. GUEMAR.
ENP, Août 1983.
- 📖 [9] : **Encyclopédie UNIVERSIALIS CD- ROM 98.**
- 📖 [10] : **Encyclopédie ENCARTA CD- ROM 98.**

