

2/02



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale
Polytechnique

Département
Génie Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Minier

Thème

**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 magnétique, flottation et
lixiviation**

Proposé par :

SPA SOFELD

Dirigé par :

M. A. SAADA

Etudié par :

HORIMEK Mohamed

Promotion 2002

REMERCIEMENTS



Au terme de ce mémoire, je remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Comme je tiens particulièrement à remercier :

- ✓ Mon promoteur M. Abdelhafid SAADA, pour son suivi et ses conseils pendant la réalisation de ce travail.
- ✓ M. Malek OULD HAMOU, qui m'a beaucoup aidé.
- ✓ Tous les enseignants du Département Génie Minier qui ont participé à ma formation.
- ✓ La Direction et le Personnel de l'entreprise nationale des Feldspaths d'Algérie « SOFELD », notamment :
 - M. Omar BAGHLI, Président du Conseil d'Administration de la SOFELD.
 - M. Abderrahmane ADJEL, Directeur de l'entreprise pour son soutien.
 - M. Messaoud BOURAHLA, Consultant à SOFELD, pour ses conseils et son aide.
- ✓ La Direction et le Personnel de l'Office de Recherche Géologique et Minière (ORGM), notamment :
 - M. Cherif ABD ELOUAHAB, Directeur du laboratoire central.
 - M. Mohand Amokrane AINOUCHE et Ahmed DJAFFAR, respectivement responsable section de valorisation des minerais et technicien laboratoire.
- ✓ Le Président et les membres du jury, qui ont accepté de juger ce travail.

SOMMAIRE



INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
-----------------------------	---

GÉNÉRALITÉS

I. Définitions.....	3
I.1. Propriétés physiques.....	4
I.2. Compositions chimiques.....	4
II. Utilisation du Feldspath.....	5
II.1. Dans l'industrie de la céramique.....	5
II.2. Dans l'industrie du verre.....	6
II.3. Dans les émaux et frits.....	6
II.4. Autres usages.....	6
III. Exploitation des feldspaths.....	7
IV. Production mondiale du feldspath.....	8
V. Géologie et minéralogie des gisements de feldspaths.....	12
VI. Paragénèses des feldspaths.....	13

PARTIE THÉORIQUE

I. Introduction.....	14
II. Méthodes de traitement des feldspaths.....	15
II.1. Séparation électromagnétique.....	15
II.1.1. Introduction.....	15
II.1.2. Principe.....	15
II.1.3. Les séparateurs magnétiques.....	15
II.2. Flottation.....	18
II.2.1. Introduction.....	18
II.2.2. Principe de la flottation.....	18
II.2.3. Différents procédés de flottation.....	18
II.2.4. Réactifs utilisés dans la flottation.....	19
II.2.5. Description d'une cellule de flottation.....	19
II.2.6. Alimentation et récupération des minerais bruts et enrichis.....	19
II.2.7. Les différentes opérations de flottation.....	20
II.2.8. Flottation des minerais de feldspath.....	20
II.3. La lixiviation.....	21
II.3.1. Introduction.....	21
II.3.2. Paramètres influant sur la lixiviation par agitation.....	22
II.3.3. Principales opérations de lixiviation du feldspath.....	22

PARTIE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE I PRÉSENTATION DES GISEMENTS D'AIN-BARBAR ET DE KABYLIE	
I. Historique des gisements d'Ain-Barbar et de Kabylie.....	24
I.1. Gisement d'Ain-Barbar.....	24
I.2. Gisement d'Abouda-Bouada.....	29
II. Etude pétrographique et minéralogique.....	31
II.1. Etude pétrographique.....	31
II.2. Analyse minéralogique.....	31
III. Composition chimique du tout-venant des deux gisements.....	32
IV. Echantillonnage.....	32
IV.1. Echantillonnage sur site.....	33
IV.2. Echantillonnage au laboratoire.....	33
V. Identification du minerai du gisement d'Ain-Barbar et de Kabylie.....	36
V.1. Calcul de la masse volumique.....	36
V.2. Calcul du taux d'humidité.....	36
V.3. Calcul de la porosité.....	37
V.4. Calcul de la dureté.....	38
VI. Analyse granulométrique et granulochimique.....	38
VI.1. Analyse granulométrique.....	38
VI.2. Analyse granulochimique.....	43
CHAPITRE II TRAITEMENT DU FELDSPATH PAR SÉPARATION ÉLECTROMAGNÉTIQUE	
II.1. Introduction.....	47
II.2. Conditions opératoires.....	47
II.3. Résultats des essais de séparation électromagnétique.....	48
II.4. Calcul du temps de passage et du débit.....	51
II.5. Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques.....	54
Conclusion.....	57
CHAPITRE III EPURATION DU FELDSPATH PAR FLOTTATION	
III.1. Introduction.....	58
III.2. Conditions opératoire.....	58
III.3. Consommation des réactifs.....	59
III.4. Résultats des essais de flottation.....	62
III.5. Résultats des analyses chimiques des concentrés de flottation.....	63
Conclusion.....	64
CHAPITRE IV PURIFICATION PAR PROCÉDÉ DE LIXIVIATION	
IV.1. Introduction.....	65
IV.2. lixiviation par addition de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, à température ambiante.....	65

IV.2.1. Conditions opératoires	65
IV.2.2. Consommation des réactifs et temps d'agitation.....	66
IV.2.3. Résultats des essais de lixiviation.....	67
IV.2.4. Résultats des analyses chimiques des concentrés.....	68
IV.3. Lixiviation par attaque nitrique.....	72
IV.3.1. Composition du mélange réactionnel.....	72
Conclusion.	74
<hr/>	
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	79

Bibliographie

ANNEXES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE



Minéraux composés de silico-aluminates alcalins ou alcalino-terreux, les feldspaths sont utilisés dans plusieurs branches de l'industrie : pour la fabrication de porcelaine, de faïence, de céramique isolante et abrasive, et dans l'industrie du verre, ...etc.

L'étude, que nous nous proposons de mener à la demande de l'entreprise nationale « SOFELD », concerne la valorisation de minerai feldspathique, provenant des gisements d'AIN- BARBAR (Annaba) et d'ABOUDA-BOUADA (Kabylie). Nous avons entrepris une étude d'orientation, en vue de définir un schéma de préparation mécanique, de purification pour éliminer une partie des contaminations ferrifères et autres, d'enrichissement en minéraux feldspathiques, permettant de produire une gamme importante de feldspaths épurés, adaptés aux exigences industrielles.

Les tests minéralurgiques ont porté, en premier lieu, sur l'étude et la caractérisation de ces minerais, puis par un enrichissement physique par le biais de la préparation mécanique (concassage, broyage, classification).

Nous avons utilisé trois procédés d'enrichissement :

1. La séparation électromagnétique par voie sèche ;
2. La flottation ;
3. La lixiviation ;

Le but de notre travail a donc consisté à établir d'une part une comparaison des résultats de cet affinage des trois procédés, et d'autre part de combiner ces méthodes, afin de dégager une proposition de schéma technologique de traitement de ce minerai.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ces essais sont réalisés au niveau des laboratoires de valorisation des minerais de l'École Nationale Polytechnique (ENP) et de l'Office Nationale de la Recherche Géologique et Minière (O.R.G.M).

GÉNÉRALITÉS

I- Définitions:

La première mention de ces minéraux se trouve dans un ouvrage suédois de J. Tilas (1740), sous la forme *feldtspat*, où l'on s'accorde à retrouver les constituants *spat* (cristal) et *feldt* (champ labouré), ce qui évoque leur présence dans certaines arènes granitiques.

Du point de vue minéralogique, les feldspaths sont des tectosilicates et forment un groupe très homogène, dont l'étude est rendue complexe par l'existence de nombreuses solutions solides, par des variations de structure en fonction de la température, par la persistance fréquente d'états métastables. Les multiples travaux expérimentaux, qui ont éclairci tous ces phénomènes, et qui ont fait ressortir la lenteur de leurs transformations, permettent de les utiliser comme de bons «thermomètres géologiques».

C'est un important groupe de minéraux composés d'aluminosilicates de potassium, de sodium, de calcium ou occasionnellement de baryum. Les feldspaths sont les minéraux les plus abondants, et comptent pour presque la moitié du volume de l'écorce terrestre. Bien que les minéraux de feldspath forment des cristaux monocliniques ou tricliniques, ils se ressemblent néanmoins par leur structure, leur façon de former des macles, leurs surfaces de clivage inclinées l'une par rapport à l'autre formant un angle de presque 90°. Ils ont un éclat vitreux ; leur couleur varie du blanc ou incolore, à des teintes variées de rose, jaune, vert, et rouge. Ils apparaissent en cristaux simples ou en masses, et forment un constituant important de nombreuses roches magmatiques et métamorphiques, comme le granite, le gneiss, le basalte et d'autres roches cristallines.

Les feldspaths s'altèrent généralement en saussurite, kaolinite, séricite et calcite. Cependant certains feldspaths tels que la sanidine et l'albite, sont presque inaltérables.

I-1- Propriétés physiques :

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 ou développés dans des druses. La dureté est voisine de 6-6,5; la densité est faible et varie entre 2,5 et 2,8 suivant la composition chimique; il en est de même pour les indices optiques moyens, compris entre 1,52 et 1,58. L'habitus est en général trapu, avec des troncatures plus ou moins nombreuses. Dans les roches volcaniques, les feldspaths sont habituellement de petites dimensions (microlites), alors que dans les gneiss ils forment fréquemment des «yeux» bien développés.

Les feldspaths des roches volcaniques anciennes ou des roches plutoniques ont le plus souvent un aspect trouble, dû au développement de minéraux argileux (séricite, kaolin) ainsi qu'à la présence éventuelle d'inclusions liquidées secondaires. Cette altération entraîne généralement une teinte crème ou rose chez les orthoses, alors que les plagioclases deviennent presque toujours blanc verdâtre.

I-2- Composition chimique :

L'analyse des feldspaths permet de les considérer comme des mélanges plus ou moins homogènes de trois constituants élémentaires purs: un feldspath sodique, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (albite), un feldspath calcique, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (anorthite), un feldspath potassique, KAlSi_3O_8 (orthose, sanidine ou microcline). Ce sont des formules de tectosilicates, que l'on peut faire dériver de celle du quartz en imaginant le remplacement d'un silicium sur quatre par un aluminium, avec introduction corrélative d'un ion Na^+ ou K^+ pour compenser la différence de charge entre Si^{4+} et Al^{3+} ; Dans le cas de l'anorthite, c'est le remplacement théorique d'un des alcalins par un Ca^{2+} , qui implique la substitution d'un deuxième silicium par un aluminium. En désignant par x , y , z les pourcentages relatifs des constituants albite (Ab), anorthite (An), orthose (Or), tout feldspath peut donc se représenter par la formule:



II- Utilisation du Feldspath :

Les industries du verre et de la céramique utilisent les plus importantes quantités de feldspaths et de roches feldspathiques, à la fois pour leur propriété de fondant, et pour leurs apports en alumine et en éléments alcalins (potassium et sodium).

II-1- Dans l'industrie de la céramique :

Le feldspath potassique trouve une très large gamme d'utilisation dans l'industrie céramique. Deux domaines d'utilisation se distinguent :

- ▶ Mélangé avec des argiles plastiques ou kaoliniques à granulométries fines dans une pâte céramique ;
- ▶ Incorporé dans un mélange pour émail.
- ▶ Les spécifications pour les deux domaines sont :
- ▶ Feldspath destiné à entrer dans la composition de la pâte céramique, où la teneur en fer peut être très faible (0.05% à 0.15%) pour les produits qui cuisent blanc (la porcelaine par exemple), ou plus élevée (0.15% à 0.5%) pour les produits destinés à recevoir un émail opaque où la couleur rose-rougeâtre est acceptable.
- ▶ Feldspath destiné à la fabrication d'émail, où la teneur en fer doit être inférieure à 0.10% et la teneur en titane inférieure à 0.02%. S'il s'agit d'un feldspath potassique, une forte préférence est exprimée pour une teneur en K_2O supérieure à 12%.

Quatre cas d'utilisation du feldspath dans l'industrie de la céramique sont répertoriés:

- ▶ La porcelaine ;
- ▶ Les carreaux de faïence pour revêtement mural ;
- ▶ La céramique sanitaire ;
- ▶ Les grés de sol, carreaux de sol et porcellaneto.

II-2- Dans l'industrie du verre :

Les industries de la verrerie utilisent plus de la moitié de la production du feldspath pour le verre ; le feldspath est utilisé comme fondant, c'est-à-dire, comme un produit qui réduit la température de fusion d'un mélange eutectique. Pour une utilisation en verrerie comme en céramique, l'avantage apporté par le feldspath sodique porte essentiellement sur une résistance mécanique supérieure du produit fini.

Les quantités de feldspath, entrant dans la fabrication du verre varient de 2 à 20% (65 à 90 kg pour une tonne de verre plat), le tableau (Tab.1) montre ces variations.

Type de verre Composition	Verre blanc	Verre à bouteille	Verre à vitre
	%	%	%
Sable	54	50.4	44
Feldspath	8	3.6	1
Dolomie	4	2.9	9
Calcaire	15	8	4
Carbonate de soude	18	15.8	13

Tab.1. Matériaux entrant dans la confection de différents types de verre

II-3- Dans les émaux et frits :

Le feldspath potassique est utilisé de façon très courante dans le domaine des émaux céramiques. Par rapport au feldspath sodique, le feldspath potassique permet la production d'émaux plus résistants et qui ont moins tendance à former des écailles.

II-4- Autres usages :

Les feldspaths sont également utilisés en petite quantité dans un grand nombre d'industries, à savoir :

- Charge dans les caoutchoucs, les plastiques et peintures ;
- Abrasif doux dans certains savons et poudres à récurer ;

- Liant dans les réfractaires, vitrification des meules, ...etc.
- Enrobage des baguettes pour soudure à l'arc ;
- Poudre de couverture, en sidérurgie sur les coulées continues ;
- Amendements siliceux et potassique pour les orthoclases ;
- Dans les isolants électriques, engrais, bijouteries, ...etc.

Le tableau ci-après regroupe les principales utilisations du feldspath, (Tab.2) :

Feldspath	Chimisme %	Utilisations
Feldspath sodique	Na ₂ O (8-10)	Fondant en verrerie (influence de Fe ₂ O ₃ sur la coloration) et en céramique
Feldspath potassique	K ₂ O (8-9) Na ₂ O (<2)	Emaillerie, électro-porcelainerie (isolateurs électriques ordinaires)
	K ₂ O (10-12) Na ₂ O (<2)	Porcelainerie, céramique, isolateurs électriques spéciaux
	K ₂ O (8-9) Na ₂ O (2-3)	Grés sanitaires
Feldspath Sodi-potassique	K ₂ O (4-5) Na ₂ O (4-5) Al ₂ O ₃ (15-20)	Verrerie et céramique

Tab.2. Différentes utilisations de feldspaths dans l'industrie.

III/- Exploitation des feldspaths :

Les techniques d'exploitation des matériaux feldspathiques dépendent des caractéristiques du gisement.

Les gisements des roches détritiques meubles (sables feldspathiques, arènes granitiques, pegmatites altérées,...), s'exploitent nécessairement à ciel ouvert, à l'aide d'engins classiques de carrière: pelle hydraulique, bouteur, chargeuse.

Les gisements des roches massives consolidées (filons, coulées, batholites,...), s'exploitent selon le cas en souterrain à l'aide de techniques minières, ou à ciel ouvert, et l'utilisation d'explosifs est nécessaire.

L'une des difficultés de l'exploitation des formations filoniennes est d'abattre la partie noble du gisement sans pollution par les éponges stériles.

Pour être exploitable, en roche, la proportion de feldspaths contenus doit être de l'ordre de 50% et, ce qui est le plus important, la teneur en Fe_2O_3 et en impuretés colorantes doit être faible et susceptible d'être ramenée à moins de 1% pour les qualités les moins nobles, et de 0.1% voir 0.08% pour les variétés les plus nobles.

IV- Production mondiale du feldspath :

La constante progression constatée dans la production mondiale de feldspaths depuis 1975, s'est poursuivie jusqu'à maintenant, même si un ralentissement certain se manifeste depuis quelques années.

En 1990, les principales sociétés productrices de feldspath dans le monde étaient :

Unimium Canada Ltd avec environ 600 000t ;

Feldspath Corp. USA avec 390 000t ;

Commercial Minerals Ltd. Australie avec 200 000t.

La production totale de feldspaths pour les pays européens entre 1988 et 1993 se situait autour de 2.7 Mt.

Le plus gros producteur est l'Italie avec 1600 kt/an, suivi par la France et l'Allemagne avec des productions comprises entre 300 et 400 kt/an ; on peut inclure aussi l'Espagne, avec une production d'environ 200 kt/an. (Ces valeurs représentent la production de l'an 1993).

Le tableau suivant représente la production mondiale de feldspaths de 1987 jusqu'à 1992, (Tab.3).

GÉNÉRALITÉS

Pays	1987	1988	1989	1990	1991	1992*
Argentine	29 282	39 469	23 688	24 000	23 000	-
Australie	11 499	15 877	15 000	16 000	16 000	-
Autriche	4 692	8 222	7 251	8 788	10 429	11 059
Brésil	118 608	109 534	120 000	120 000	95 000	115 000
Burma	5 619	4 938	1 812	2 467	2 500	-
Chili	705	4 569	8 081	2 980	3 000	-
Colombie	33 760	37 136	40 850	34 800	35 000	-
Equateur	1 558	5 000	21 814	10 000	9 000	-
Egypte	15 963	6 131	27 731	9 894	27 000	-
Finlande	51 632	56 200	54 581	52 630	53 000	50 000
France	274 000	322 000	360 000	420 000	400 000	400 000
Allemagne (RFA)	310 447	308 776	332 638	337 572	328 788	385 000
Guatemala	7 669	8 959	7 000	11 895	12 000	-
Hong-Kong	22 853	11 050	5 152	3 820	3 500	-
Inde	49 663	57 656	56 690	54 000	55 000	-
Iran	16 226	14 781	20 458	30 000	30 000	-
Italie	1 188 700	1 367 776	1 350 733	1 605 421	1 304 203	1 330 000
Japon	33 754	29 465	43 137	57 877	92 201	63 000
Kenya	-	-	1 112	1 290	1 300	-
Corée du sud	180 269	241 511	232 607	237 447	235 000	282 000
Mexique	106 490	83 170	121 978	163 011	194 506	200 000
Maroc	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	-
Nigeria	485	190	945	714	700	-
Norvège	90 000	90 000	90 000	90 000	90 000	100 000
Pakistan	6 675	9 026	7 703	10 249	10 000	-
Pérou	64 749	2 378	10 000	10 000	10 000	-
Philippines	11 996	9 199	36 803	46 102	45 000	-
Pologne	55 000	50 000	50 000	45 000	40 000	45 000
Portugal	40 729	51 903	65 854	43 954	45 000	95 000
Roumanie	82 000	65 000	59 960	45 000	50 000	27 715
Afrique du sud	50 930	61 440	72 934	56 124	70 308	-
Espagne	161 631	195 668	198 274	214 152	192 000	150 000

Introduction Générale

Afrique du sud	50 930	61 440	72 934	56 124	70 308	-
Espagne	161 631	195 668	198 274	214 152	192 000	150 000
Sri Lanka	7 442	6 345	6 656	9 698	9 500	-
Suède	34 226	38 180	38 437	41 197	32 000	35 000
Taiwan	28 116	19 101	9 806	7 321	7 000	-
Thaïlande	168 881	293 678	515 206	311 249	320 000	523 000
Turquie	30 336	82 225	90 751	155 000	175 000	200 000
URSS	330 000	330 000	330 000	300 000	105 000	100 000
Royaume-Uni	5 692	6 267	6 470	6 500	6 417	8 000
USA	655 000	650 000	655 000	630 000	580 000	696 000
Uruguay	3 016	2 787	2 680	3 000	3 000	-
Venezuela	43 546	96 500	97 000	91 000	95 000	95 000
Yougoslavie	44 912	35 615	44 246	43 490	40 000	-
Zambie	45	120	20	60	80	-
Zimbabwe	2 962	3 730	2 697	2 197	2 200	-
Total	4 382 758	4 842 727	5 244 755	5 269 262	5 022 295	5 433 000

*Tab.3. Production mondiale de feldspaths (en tonnes)
(Source: Mineral Yearbook, US Bureau of Mines)*

* Pour l'année 1992, valeurs estimées ou non communiquées

Au niveau national, signalons deux gisements qui sont actuellement la source de la production algérienne de feldspath :

1. Gisement de Beni-Douala (Tizi-Ouzou), appartenant à un privé ;
2. Gisement d'Ain-Barbar (Annaba), appartenant à l'entreprise SOFELD.

Pour le gisement de Beni-Douala, on dispose des données recouvrant la période 1994-1996, apparaissant dans le tableau suivant, (Tab.4):

GÉNÉRALITÉS

Gisements	Production en tonnes							
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<i>Ain-Barbar</i>	6 939	4 618	3 784	-	329	2 800	3 447	2 383
<i>Beni-Douala</i>	4662	5180	2201.5 (8 mois)	-	-	-	-	-
<i>Total</i>	11601	9798	-	-	-	-	-	-

Tab.4. Production de feldspath en Algérie

La figure ci dessous montre la variation de la production annuelle du feldspath potassique du gisement d'Ain-Barbar durant la période 1994 à 2001.

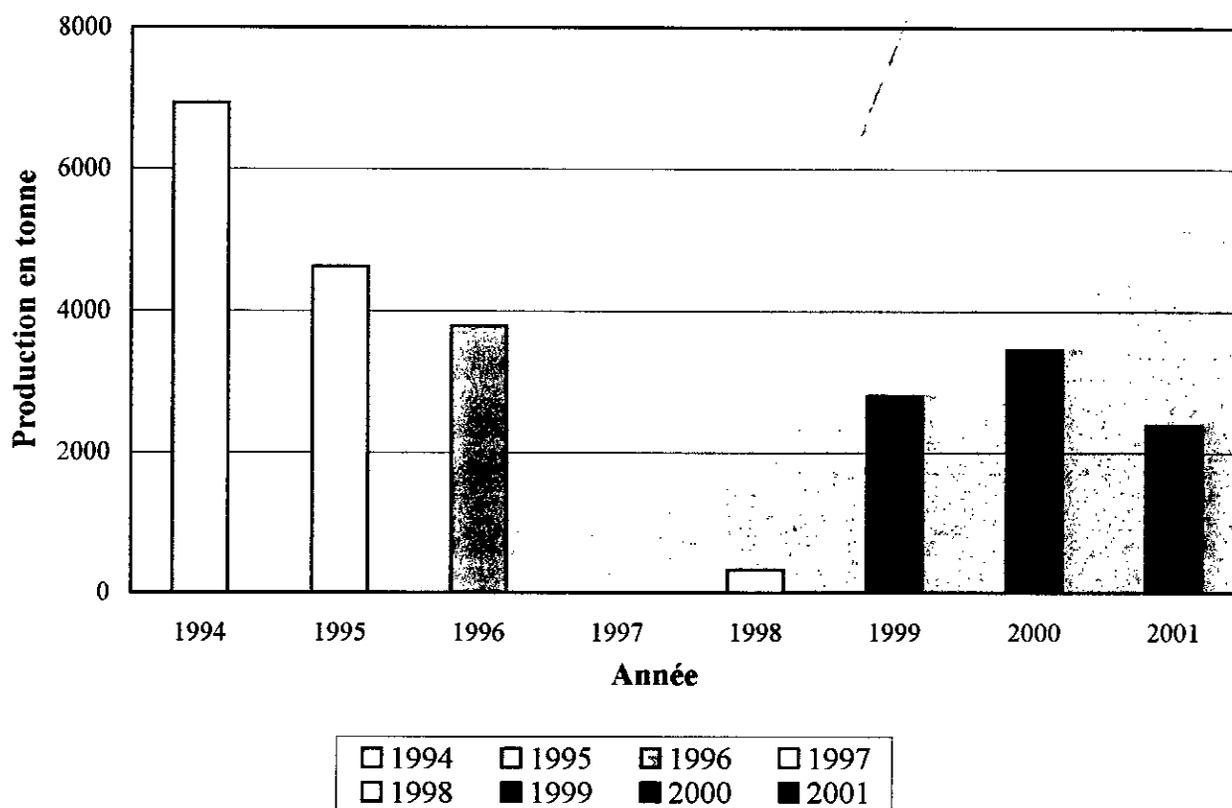


Fig. Production annuelle de feldspath potassique du gisement d'Ain-Barbar

V- Géologie et Minéralogie des Gisements de Feldspath

Les feldspaths sont très largement répandus dans l'écorce terrestre, mais d'un point de vue économique, seuls les feldspaths alcalins (potassique avec $K_2O > 10\%$ et sodique avec $Na_2O > 7\%$) sont recherchés dans le secteur industriel.

Dans la plupart des roches, la finesse des grains de feldspath ne permet pas une séparation aisée des autres constituants minéralogiques et celles-ci ne peuvent convenir comme source de feldspath.

Seules les roches, dans lesquelles les feldspaths se présentent sous forme de très gros cristaux ou celles contenant très peu d'impuretés nocives (notamment les minéraux ferrifères-biotite), sont utilisables.

Les roches éruptives susceptibles de constituer une source de feldspath pour l'industrie sont les suivants :

- Roches leucocrates de la famille des granites : leucogranite alcalin (appelé alaskite en Amérique), pegmatites, aplites (leucogranite à grain très fin), rhyolite... ;
- Roches sous-saturées en silice, riches en alcalin : Syénite néphélinique, phonolite ;
- Roches issues de transformation deutérique ou hydrothermales, roches « feldspathisées » telles que albitite, épisyénite.

Les feldspaths forment un ensemble de minéraux majeurs, qui entrent dans la composition de la plupart des roches magmatiques et de certaines roches métamorphiques.

Ils se présentent en plaquettes ou en cristaux prismatiques de couleur très variable : transparent ou blanchâtre (porcelané, vitreux, laiteux), souvent grisâtre, parfois coloré en rose ou en vert (présence d'inclusion, défaut du réseau cristallin,...) ou en noir. Ils montrent deux clivages et fréquemment des macles simples ou multiples. Dans de nombreux cas, une zonation apparaît. Leur classification et leur nomenclature sont liées aux compositions chimiques et aux arrangements des réseaux cristallins.

VI- Paragénèses des Feldspaths :**a)- Dans les roches éruptives:**

Les feldspaths constituent à peu près les deux tiers des granites, plus de la moitié des basaltes. Ce sont, avec le quartz et les feldspathoïdes, les minéraux cardinaux de la classification pétrographique des roches magmatiques. Dans les granites, granodiorites, syénites et syénites néphéliniques, les feldspaths alcalins représentent entre 30 et 40% de la roche ; il en est de même dans leurs équivalents volcaniques, ainsi que dans les aplites et les pegmatites. Les conditions thermiques de mise en place et la composition globale de la roche conditionnent la composition moyenne de ces feldspaths, formés aux environs de 600-700 °C.

b)- Dans les roches métamorphiques:

Au cours du métamorphisme, la basicité des plagioclases augmente progressivement, ce qui en fait de bons indicateurs de faciès.

On peut rattacher aux phénomènes métamorphiques, le développement de feldspaths dans les formations péri-plutoniques à partir de solutions riches en alcalins et en silice. Cette métasomatose développe souvent de grands feldspaths autour des granites et transforme parfois certaines roches en «adinoles», formées essentiellement d'albite et de quartz.

c)- Dans les roches sédimentaires:

Les feldspaths sont relativement rares dans les roches sédimentaires, bien qu'un bon nombre de grès soient assez riches en feldspaths d'origine détritique et passent généralement à des arkoses véritables. La néogénèse des feldspaths dans les sédiments n'est pas exceptionnelle: on connaît de nombreux exemples de microclines ou d'albites «authigènes», qui se caractérisent par leur grande pureté et la rareté de leurs macles. Ils s'apparentent ainsi aux minéraux hydrothermaux comme l'adulaire potassique ou le péricline sodique, qui doivent leur morphologie particulière à la coexistence de petits domaines différemment cristallisés.

PARTIE
THÉORIQUE

I- Introduction :

Après un tri grossier qui élimine les gros blocs de stériles et le bois provenant de la mine, le minerai est concassé et broyé à une finesse qui permet la séparation des constituants reconnus lors de l'analyse (maille de libération) et l'application des traitements physiques. Grâce à un classement granulométrique par trommel, par tamis, par classificateur hydraulique ou pneumatique, on peut constituer des fractions homogènes. Elles sont contrôlées quant à la répartition des dimensions de grains par examen microscopique ou par sédimentation, éluviation, etc.

Le but des traitements physiques qui suivent est l'enrichissement du minerai par élimination aussi complète que possible de la gangue. Cette concentration met en jeu des différences de propriétés physiques entre minerai et gangue. Ces propriétés physiques sont:

- ▶ La *densité* (classement densimétrique) ;
- ▶ La *tension superficielle* (classement par flottation) ;
- ▶ L'*intensité d'aimantation* (Classement magnétique) ;
- ▶ La *conductivité électrique*.

II- Méthodes de Traitement des Feldspaths :**II-1- Séparation électromagnétique:****II-1-1- Introduction:**

Les méthodes de séparation sont basées, comme dans les procédés industriels, sur les propriétés physiques et chimiques des minéraux et, en particulier, sur les différences de densité et de susceptibilité magnétique ; elles ont pour but :

- D'éliminer les minéraux considérés comme « stériles », qui masquent la partie « utile » de l'échantillon ;
- D'obtenir des fractions minérales, qui ne renferment plus que quelques minéraux et qui sont donc plus simples à étudier ;
- D'acquérir les premiers critères de détermination.

II-1-2- Principe:

La séparation électromagnétique consiste à soumettre les échantillons à l'action d'un champ électromagnétique, et à réaliser ainsi des fractionnements qui sont fonction des différentes perméabilités magnétiques des minéraux.

Ces coupures se font avec des électro-aimants à champ variable.

Les propriétés magnétiques des minéraux dépendent, en particulier, de leur composition chimique et en premier lieu de la présence d'éléments, dont les ions possèdent dans leurs couches superficielles des électrons non couplés.

Les propriétés magnétiques sont influencées par la relation chimique entre les ions et par leur situation dans la structure cristalline.

II-1-3- Les séparateurs magnétiques :

On distingue quatre types d'appareils suivant qu'ils fonctionnent en basse intensité ou en haute intensité, et selon qu'ils travaillent sur un matériau sec ou humide.

1. Séparateurs magnétiques à basse intensité à sec:

Ce type d'appareil ne concerne que les matériaux ferromagnétiques. Les particules ferro-

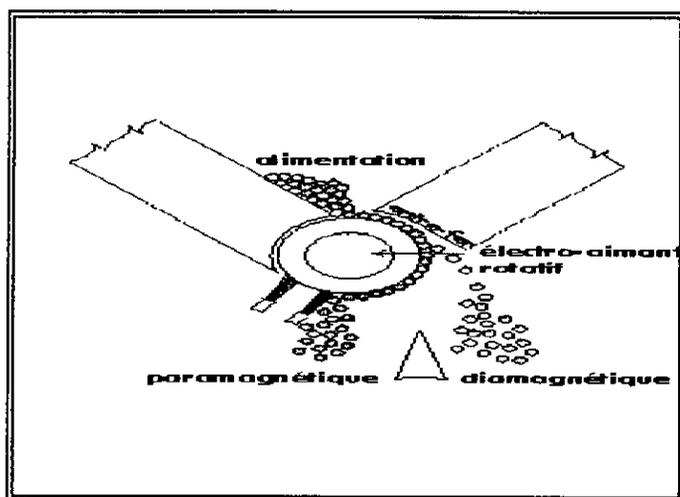


Fig.1. Séparateur électromagnétique à basse intensité à sec

magnétiques sont attirées par l'aimant permanent et collées sur la couronne en rotation. Elles sont ensuite collectées sélectivement, (Fig.1)

2. Séparateurs humides à basse intensité:

Ces séparateurs sont utilisés pour la purification des médiums ferromagnétiques des liquides denses, et pour la concentration des minerais de magnétite.

Le matériau à traiter alimente une cuve à niveau constant dans laquelle plonge un tambour rotatif, dont la position à l'intérieur de la cuve et la vitesse de révolution sont ajustables.

Sous l'influence de ce champ, les particules ferromagnétiques adhèrent au tambour qui les remonte hors du mélange par son mouvement de rotation, (Fig.2)

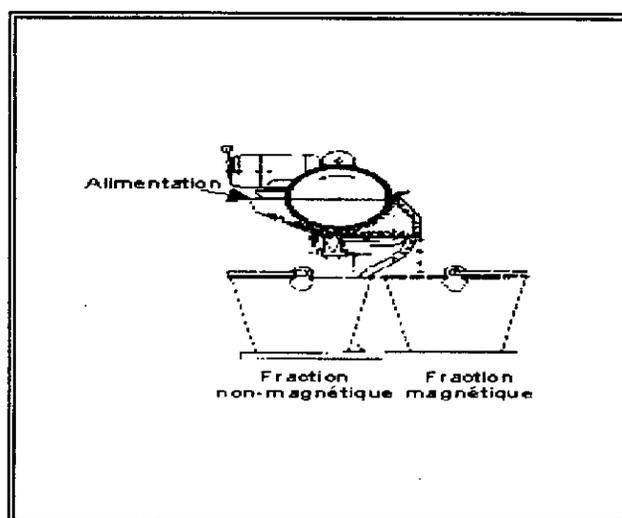


Fig.2. Séparateur électromagnétique à basse intensité humide

3. Séparateurs à haute intensité à sec:

Il existe deux sortes de séparateurs à haute intensité à sec :

a/- Séparateurs à déviation ;

b/- Séparateurs à collage préalable.

Dans les deux cas, en première approximation, les forces magnétiques développées doivent atteindre l'ordre de grandeur de la force d'attraction terrestre.

4. Séparateurs à haute intensité en milieu humide :

Le séparateur magnétique à haute intensité humide permet de séparer les particules diamagnétiques des particules paramagnétiques. Il est constitué de 2 pôles (N-S) créant un champ magnétique intense dans la cellule de séparation contenant des billes ferro-magnétiques. L'utilisation de billes de diamètres variables mène à l'obtention d'un gradient de champ magnétique d'autant plus important que les billes soient petites, (Fig.3).

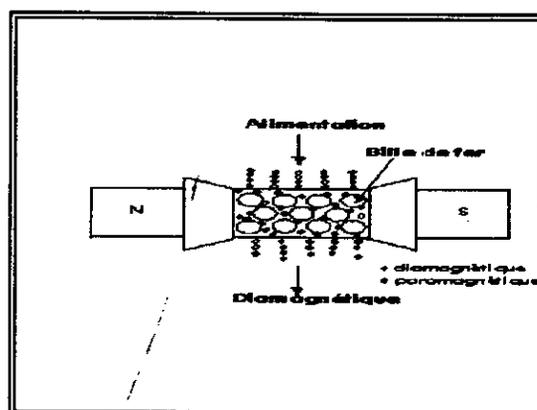


Fig.3. Séparateur électromagnétique à haute intensité humide

Ces appareils sont rarement utilisés industriellement à cause de leurs grosses difficultés technologiques.

Les minéraux possédant des propriétés magnétiques sont classés selon leur susceptibilité magnétique comme suite, (Tab.1):

Minerai	Susceptibilité (10^6 C.G.S)	Minerai	Susceptibilité (10^6 C.G.S)	Minerai	Susceptibilité (10^6 C.G.S)
Braunite	120	Hausmanite	58	Wad	85
Pyrolusite	30	Psilomélane	25-50	Rhodocrosite	100-195
Wernadite	30-45	Rutile	530	Wolframite	65-95
Ilménite	25-115	Corindon	0	Stibine	6
Blende	0-10	Bornite	0	Pyrite	0
Chalcocite	0	Galène	0	Erubescite	27
Marcassite	0	Malachite	15	Dolomite	2
Calcite	0-3	Ankérite	34	Fluorine	5
Monazite	14	Apatite	4	Biotite	40-55
Zircon	150-200	Grenat	60-160	Talc	28
Hornblende	30-230	Quartz	0	Aegyrine	85
Calcite manga- nésifère	65-95	Glauconie	60	Feldspath	5
		Manganite	48		

Tab.1. Répartition de certains minéraux selon leurs susceptibilité magnétiques.

III-2- Flottation:

III-2-1- Introduction:

La flottation, comme l'indique son nom, consiste à faire flotter des particules de minéraux (trop fines, en général), à la surface d'un fluide de poids spécifique inférieur à celui des minéraux.

Cette technique est basée sur les lois de la chimie physique, c'est-à-dire les différentes propriétés des interfaces, soit : Solide-liquide, liquide-gaz et solide-gaz. Les appareils, utilisés à cet effet, sont appelés cellules de flottation. Leur principe de fonctionnement est basé sur l'agitation avec injection d'un courant d'air produisant des bulles d'air dans la pulpe, ce qui régit le phénomène de flottation.

III-2-2- Principe de la flottation :

Les particules solides à séparer sont mises en suspension dans l'eau. On traite cette pulpe avec des réactifs spéciaux, qui en s'adsorbant sélectivement à la surface de certaines particules, les rendent hydrophobes.

La pulpe ainsi conditionnée est introduite dans une cellule de flottation, munie d'un agitateur et d'un diaphragme (source des bulles d'air).

Les bulles d'air adhèrent aux particules hydrophobes et entraînent celles-ci, sous l'action de la poussée d'Archimède résultante ; l'ensemble (particules + bulles) flotte à la surface du bac. Cette écume enrichie en phase solide est extraite de la cellule, afin d'obtenir un concentré de flottation ; tandis que les particules hydrophiles plongent dans le fond, d'où elles sont évacuées.

III-2-3- Différents procédés de flottation :

- a. Skin flottation ou flottation sans agitation à la surface de l'eau ;
- b. Pressure flottation ou flottation sous pression ;
- c. Film flottation, agglomération ou flottation sur table ;
- d. Bulk-Oil flottation ou flottation par l'huile ;
- e. Procédé de flottation avec agitation (froth flottation) ;

- f. Flottation chimique ;
- g. Procédé de flottation par calcinations fractionnées au préalable ;
- h. Segregation process ;
- i. Picking process ou flottation à sec.

III-2-4- Réactifs utilisés dans la flottation :

- a) **Le régulateur du milieu:** C'est un réactif qui détermine le degré d'acidité ou d'alcalinité de la pulpe.
- b) **Les collecteurs ou agglomérants:** Ce sont des substances organiques, qui agissent sur la surface des minéraux, par la formation sur leurs surfaces de pellicules hydrophobes, et contribuent à une meilleure adhérence des particules aux bulles d'air.
- c) **Les déprimants ou inhibiteurs:** 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 plongeants).
- d) **Les activants:** Contribuent à la fixation des collecteurs sur la surface des minéraux.

III-2-5- Description d'une cellule de flottation :

La cellule de flottation présente souvent la forme extérieure d'un parallélépipède 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 ;

III-2-6- Alimentation et récupération des minerais bruts et enrichis :

L'alimentation en pulpe se fait soit par le côté latéral de la cellule, soit directement dans la zone centrale de l'agitateur. La sortie se fait au niveau de deux points :

- Soit par débordement des écumes à la partie supérieure pour le produit flotté ;
- Soit par le bas de la cellule, en un ou plusieurs points pour le produit non flotté, ou par passage direct dans la cellule suivante, pour subir un nouveau traitement de flottation (cas d'installations industrielles).

III-2-7- 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) Flottation principale :

Elle constitue la première opération de flottation qui a pour but de séparer les différents groupes de minéraux ; elle peut être simple, collective, semi-globale ou différentielle.

b) Flottation de lavage :

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

c) 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.

III-2-8- Flottation des minerais de feldspath:

Les concentrés de feldspath utilisé dans l'industrie du verre et de la céramique doivent être exempts de minéraux tels que le grenat, le mica, la tourmaline, l'ilménite, et les oxydes de fer. On peut aisément éliminer ceux-ci en les flottant soit avec un collecteur de la série 800, soit avec un collecteur cationique tel que l'Aeromine 3037.

Par exemple, on peut décrire un schéma type comme suit:

On déschlamme d'abord, puis on flotte le mica en milieu acide à $\text{PH} = 2 \sim 3$ avec de l'acide sulfurique, et une amine à longue chaîne ou Aeromine 3037 ; le moussant est

de l'huile légère, si nécessaire. Ensuite, on épaissit la pulpe par simple décantation et on conditionne à haut pourcentage solide avec de l'acide sulfurique ($\text{PH} = 2 \sim 3$), et avec, comme collecteur, de l'Aero 801R accompagné de 825 ou de 840. On dilue alors la pulpe entre 25 et 40% solide, puis on flotte le grenat et les autres minéraux de fer. Enfin la pulpe est soumise à une autre décantation, puis rediluée avec de l'eau nouvelle ; on flotte alors le feldspath à l'aide de l'acide fluorhydrique ($\text{PH} = 2 \sim 3$), d'une amine comme collecteur, d'une huile légère telle que le kérosène, et d'un moussant au besoin.

IV-3- La Lixiviation :

IV-3-1- Introduction :

La lixiviation est une méthode de mise en solution du métal utile, par dissolution, en utilisant des liquides que l'on appelle solvants. La dissolution doit être sélective, c'est à dire que le métal ou le composé à dissoudre doit l'être complètement, tandis que la gangue doit être attaquée, afin d'éviter toute contamination de la solution et ainsi économiser le réactif (solvant).

Comme solvants, citons : des solutions concentrées en acide, en base, en sel, avec utilisation d'oxydants ou des réducteurs et des solutions contenant des bactéries.

Deux méthodes de lixiviation prédominent :

1- **Sans agitation** : C'est à dire, par percolation (infiltration, filtration) du solvant.

2- **Avec agitation du matériau et du solvant** :

Cette technique est utilisée, le plus souvent, pour les matériaux présentant une granulométrie inférieure à $200\mu\text{M}$, car un matériau plus grossier chute au fond de la cuve par gravité, d'où difficulté d'agiter et d'homogénéiser la solution.

La durée de lixiviation ne dépasse guère quelques heures, dans le cadre d'une extraction élevée du métal dans la solution.

Deux types d'appareils sont utilisés :

- Des cuves (bétonnées, en acier, en bois), fonctionnant sans pression, alimentées par un dispositif spécial (mécanique ou pneumatique) pour le mélange de la pulpe.

- Autoclaves, fonctionnant sous pression à hautes températures.

Dans le cas d'un mélange mécanique d'une pulpe, on utilise des agitateurs de natures différentes : à hélice, à palettes d'agitation, à râteaux, à turbine, à vis... etc.

Les résultats de la lixiviation des éléments et des liaisons séparées dépendent de :

- La composition réelle du matériau initial (tout-venant) ;
- Du caractère de l'inter liaison des matériaux ;
- La grosseur de leurs grains respectifs ;
- La porosité des particules solides et de leur composition dans la pulpe ;
- La durée et des conditions hydrodynamiques de la lixiviation.

IV-3-2- Paramètres influant sur la lixiviation par agitation :

Pour une bonne récupération en élément valorisable par lixiviation il faut prendre en considération plusieurs facteurs à savoir :

- Les dimensions des particules des minéraux ;
- Le rapport solide-liquide (S/L) ;
- La valeur du PH du milieu ;
- La température de la solution d'attaque ;
- La vitesse d'agitation.

IV-3-3- Principales opérations de lixiviation du feldspath:

1- Lixiviation par addition d'hydrosulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) à une température ambiante:

Le principe de cette technique consiste à extraire le fer par une lixiviation sélective à une température ambiante, en pulpe acide de $\text{PH} \approx 2.2$. l'hydrosulfite de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) est utilisé comme agent réducteur de Fe^{3+} , ce qui permet d'augmenter la solubilité du fer en milieu acide.

Pour réaliser cette étape, on utilise un réacteur agité en verre équipé d'un couvercle non-étanche portant une sonde à résistance de platine pour le contrôle de la température, d'une électrode combinée pour la mesure de PH et d'une électrode de platine pour la mesure du potentiel d'oxydoréduction E Pt-Ag/AgCl.

température, d'une électrode combinée pour la mesure de PH et d'une électrode de platine pour la mesure du potentiel d'oxydoréduction E Pt-Ag/AgCl.

Au terme de la lixiviation, la pulpe est centrifugée ou filtrée, puis lavée par une solution aqueuse contenant H_3PO_4 dosé à 2Kg/t pour déplacer la solution ferreuse résiduelle.

1- Lixiviation en pulpe acide chauffée:

La lixiviation se fait dans un réacteur agité à double paroi, équipé d'un condenseur pour minimiser l'évaporation. La pulpe est de 60% de solide, avec une température du milieu de $90^\circ C$; la pulpe est acidifiée par addition d'acide sulfurique (H_2SO_4) pour garder le PH à 0.85. La durée de lixiviation est de 60mn.

La lixiviation acide à chaud conduit à des performances d'épuration insuffisantes. Le procédé apparaît comme peu intéressant du fait du chauffage de la pulpe et des problèmes soulevés par des effluents fortement acides.

2- Lixiviation par attaque acide:

La lixiviation par attaque acide s'effectue selon deux procédés :

a)- Attaque nitrique:

La lixiviation par attaque nitrique s'exécute dans un réacteur agité, équipé d'un couvercle muni d'un condenseur pour limiter l'évaporation de la solution d'attaque, constituée par un mélange de HNO_3 et de bifluorure d'ammonium (NH_4F, HF), à raison de 95 parties pondérales d'acide pur et 5 parties de bifluorure.

Au terme de l'attaque, la pulpe acide est centrifugée, le solide résiduel est lavé par apports d'eau suivis de centrifugations (5 lavages) successives.

b)- Attaque sulfo-phosphorique:

L'attaque se fait dans une nacelle de platine, de volume utile 65 cm^3 , chauffée par une plaque en céramique régulée en température ; la température étant comprise entre 250 et $300^\circ C$.

Le produit de l'attaque phosphorique est repris par de l'eau et la pulpe centrifugée pour séparer la solution du résidu solide.

PARTIE
ExpÉRIMENTALE

SCHEMA GENERAL DES TRAVAUX REALISES

1^{er} ETAPE

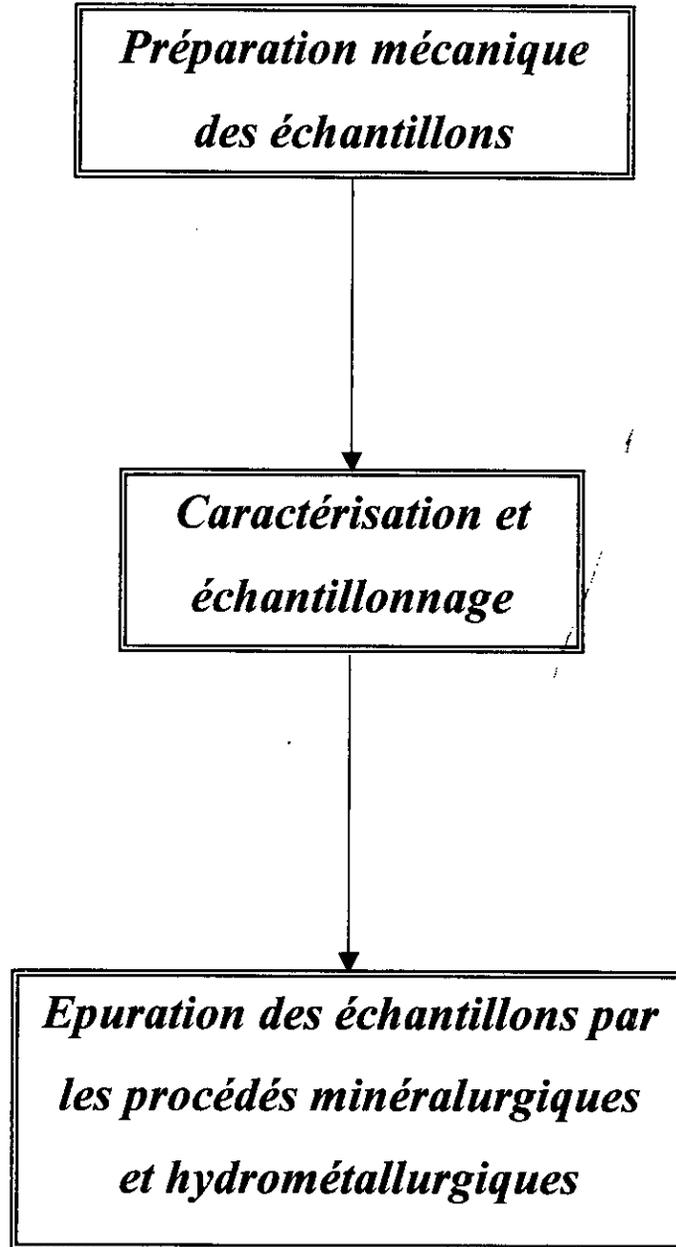
*Préparation mécanique
des échantillons*

2^e ETAPE

*Caractérisation et
échantillonnage*

3^e ETAPE

*Epuration des échantillons par
les procédés minéralurgiques
et hydrométallurgiques*



CHAPITRE I

PRÉSENTATION DES GISEMENTS D'AIN-BARBAR ET
D'ABOUDA-BOUADA

I- Historique des Gisements d'Ain-Barbar et de Kabylie**I-1- Gisement d'Ain-Barbar :****I-1-1/- Introduction :**

Le gisement de feldspaths d'Ain-Barbar a été découvert en 1974 par les géologues du groupe des substances utiles de la base « C », (SONAREM).

Les travaux géologiques sur ce gisement ont été entamés en février 1976 et ont été achevés pendant le mois d'août de cette même année.

Les travaux analytiques (essais chimiques, pétrographiques et physico-mécaniques) ont été confiés au laboratoire de la base « C » et en partie au laboratoire central de la SONAREM.

Les essais technologiques, la cuisson, les tests industriels et une partie des analyses chimiques ont été effectués au niveau du laboratoire et dans les ateliers de l'usine de céramique d'EL MILA.

La prospection a permis de mettre en évidence des réserves industrielles totalisant en catégories B+C₁ = 2173400 tonnes, satisfaisant ainsi les besoins de l'industrie céramique du Nord-Est du pays.

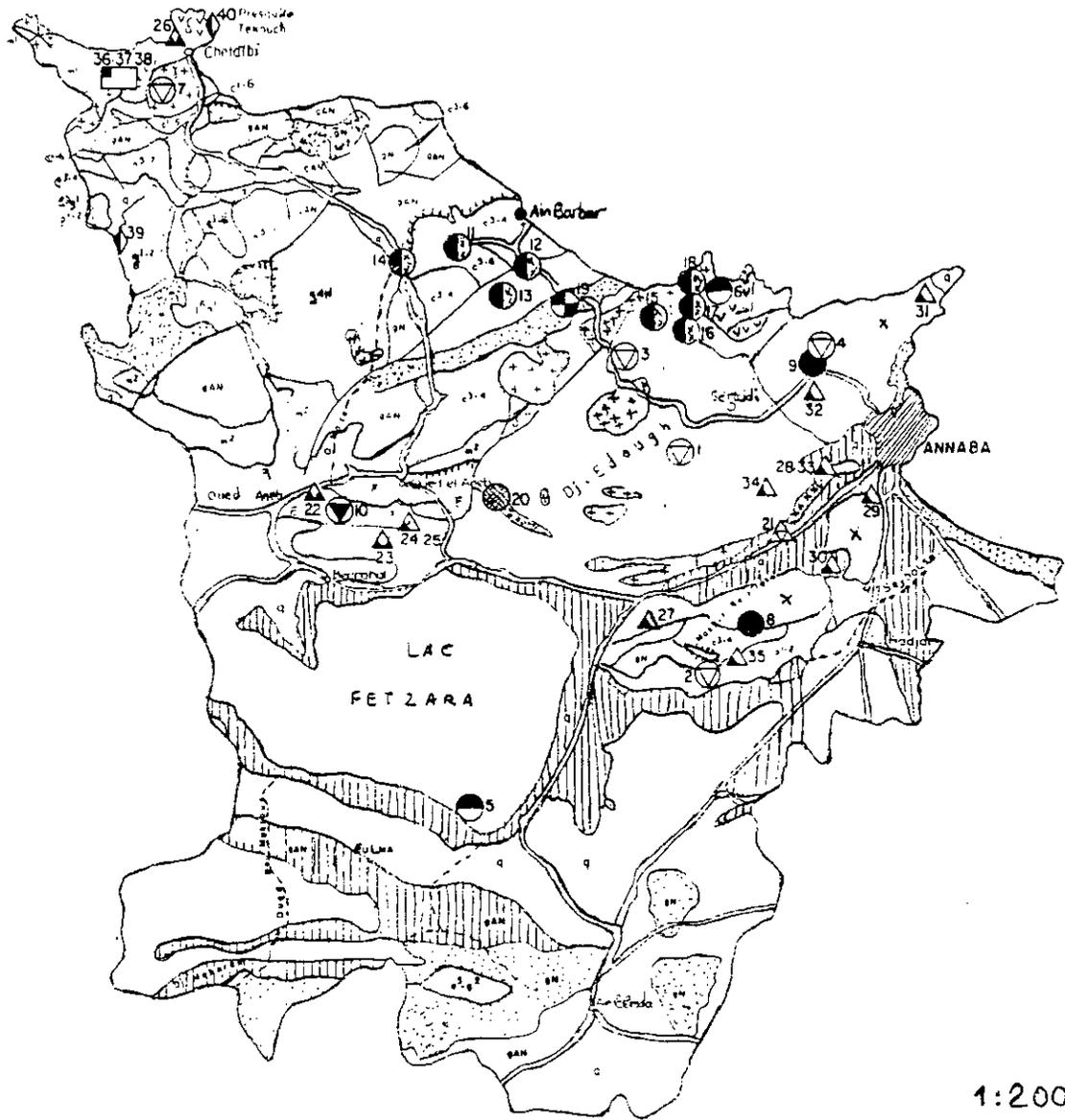
I-1-2/- Situation géographique du gisement:

Le gisement de felsites d'Ain-Barbar est éloigné d'Annaba de 40 km (RN n° 16) et de 104 km de l'usine de Guelma (RN n° 46 et RN n° 21). Le gisement est situé sur le versant de Fedj Trab, El Akhal près du Si Khouziel ayant pour coordonnées X= 930, 20 Y= 490, 15.

La surface du gisement a la forme rectangulaire allongée en direction ENE ; sa longueur est de 1400m, et la largeur est de 250-300m.

L'accès à Ain-Barbar se fait par la route goudronnée (RN n°16) venant de Annaba et aboutissant à Chetäba. Du lieu dit « Quatre Chemins », une route goudronnée permet

de rejoindre les installations d'Ain-Barbar inférieur, où se trouve notamment la cité minière, les bâtiments administratifs et de soutien ainsi que la laverie de l'ex mine polymétallique d'Ain-Barbar, (Fig.I.1.1).



LEGENDE

TERRAINS PERSPECTIFS EN SUBSTANCES UTILES

- Argiles pour briques
- Sables quartzeux
- Grès et quartzites
- Roches granitiques
- Roches volcaniques

MATERIAUX DE CONSTRUCTION

- Additifs de correction

PIERRES DE CONSTRUCTION

- Argiles expansées (Kéramsites)
- Roches pour agrégats
- Pierres de revêtement

MATERIAUX A USAGE INDUSTRIEL

- Argiles pour réfractaires
- Argiles kaoliniques, kaolin
- Grès quartziteux pour verrerie
- Quartzites
- Roches quarzo-feldspathiques pour céramiques
- Talc

Fig.I.1.1. Carte de localisation géographique du gisement d'Ain-Barbar montrant les différentes substances utiles

Le gisement d'Ain-Barbar se trouve dans la partie septentrionale du massif de l'Edough, en amont de l'Oued Ouidir. La topographie est assez irrégulière, les versants faisant 250 à 400m. Les altitudes absolues varient de 200m (Oued Ouidir) à 800m (mont de Chaiba).

Le chantier se trouve à 1.5 km à vol d'oiseau à l'Ouest de la mine polymétallique d'Ain-Barbar (Fig.I.1.2)

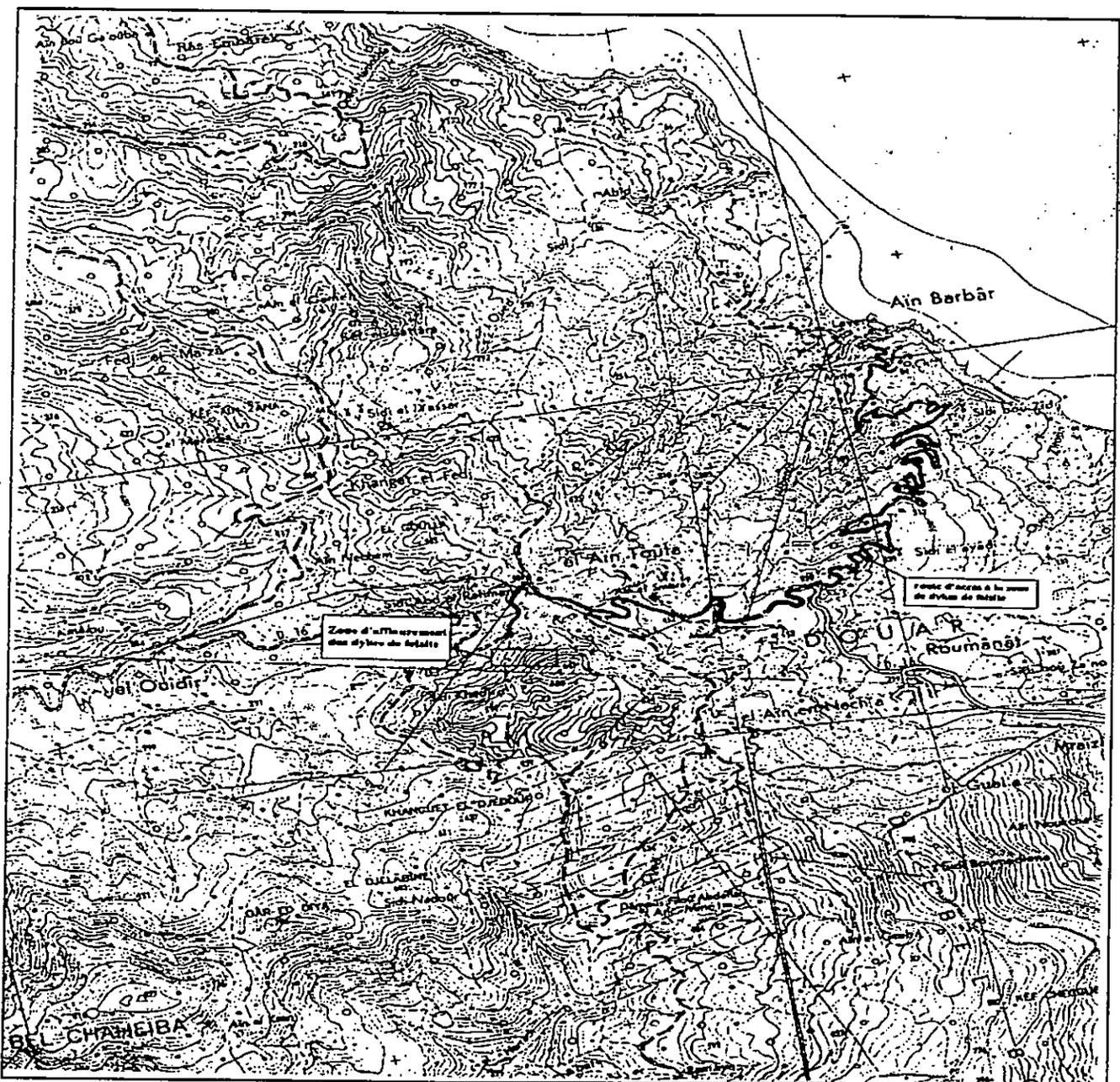


Fig.I.1.2. Carte topographique à l'échelle de 1/40 000 (approx) montrant la zone d'affleurement de dykes de felsite et l'accès

I-1-3/- Géologie du gisement :

Le chantier d'Ain-Barbar est formé par une série sénonienne d'aleurolito-schistes recoupés par des dykes de granites porphyriques et de rhyolites, qui renferment la substance recherchée.

Dans le sénonien, on peut distinguer le haut de la série inférieure et le bas de la série moyenne.

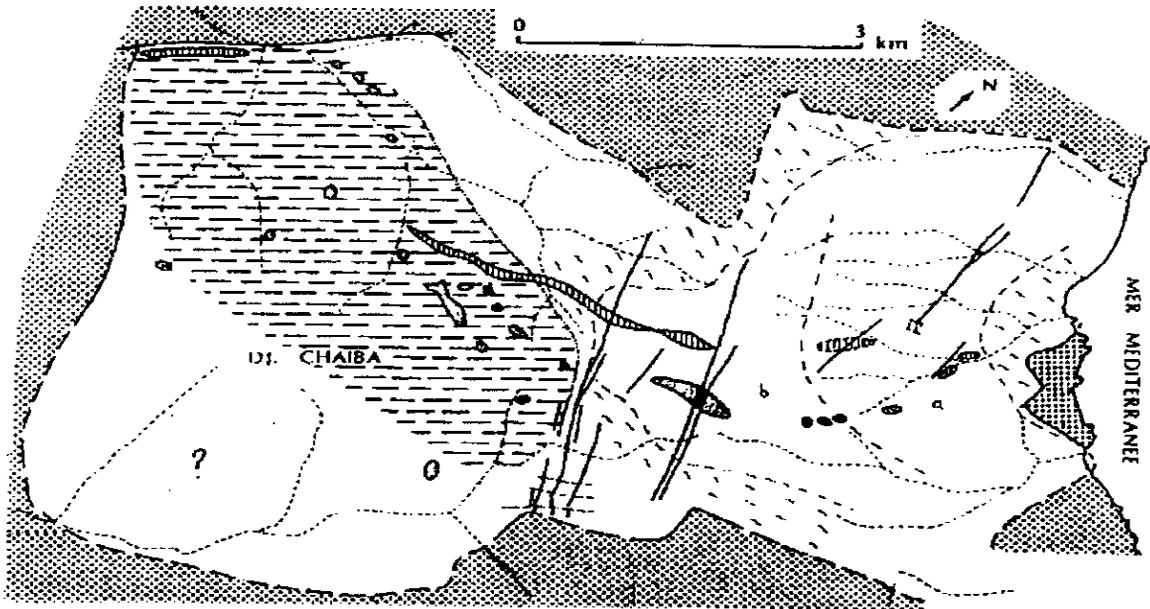
La série inférieure est composée d'aleuroschistes et de schistes très compacts et transformés en cornéennes ; Ce sont des roches verdâtres et gris-foncées. Leur composition est siliceuse et silico-argileuse.

La série moyenne est caractérisée par un développement d'argilites schisteuses. C'est une roche formée par de minces lits, très plissés et boudinés, de couleur grise ou gris bleuâtre (jaune rouille sur les surfaces d'altération).

Toute la série est allongée suivant une direction latitudinale, son pendage est plutôt septentrionale ($20^{\circ} - 70^{\circ}$), (Fig.I.1.3).

Le sous-sol de la région d'Ain-Barbar comprend quatre complexes aquifères liées à la nature des formations géologiques locales :

- ⇒ Aquifère quaternaire ;
- ⇒ Aquifère lié aux dépôts néogènes ;
- ⇒ Aquifère lié aux dépôts du crétacé inférieur ;
- Aquifère lié aux formations métamorphiques du précambrien ;



- Répartition schématique des principaux faciès du flysch d'Aïn-Barbar.

- | | | | |
|---|--|---|----------------------------|
|  | <p>Flysch rubané (a : à dominante carbonatée ;
b : à dominante silicatée)</p> | } | <p>flysch d'Aïn-Barbar</p> |
|  | <p>Flysch schisteux</p> | | |
|  | <p>Cornéennes du Djebel Chaïba</p> | | |
|  | <p>Numidien</p> | | |
|  | <p>Microgranites</p> | | |
|  | <p>Rhyolites</p> | | |
|  | <p>Filons minéralisés</p> | | |

Fig.I.1.3. Carte géologique de Marignac (1985) montrant la distribution des faciès des roches encaissantes

I-2- Gisement d'Abouda Bouada :**I-2-1- Introduction :**

Les pegmatites du gisement d'Abouda Bouada sont utilisées depuis longtemps (50 à 60 ans) par les habitants comme matériel de remplissage pour la construction des maisons.

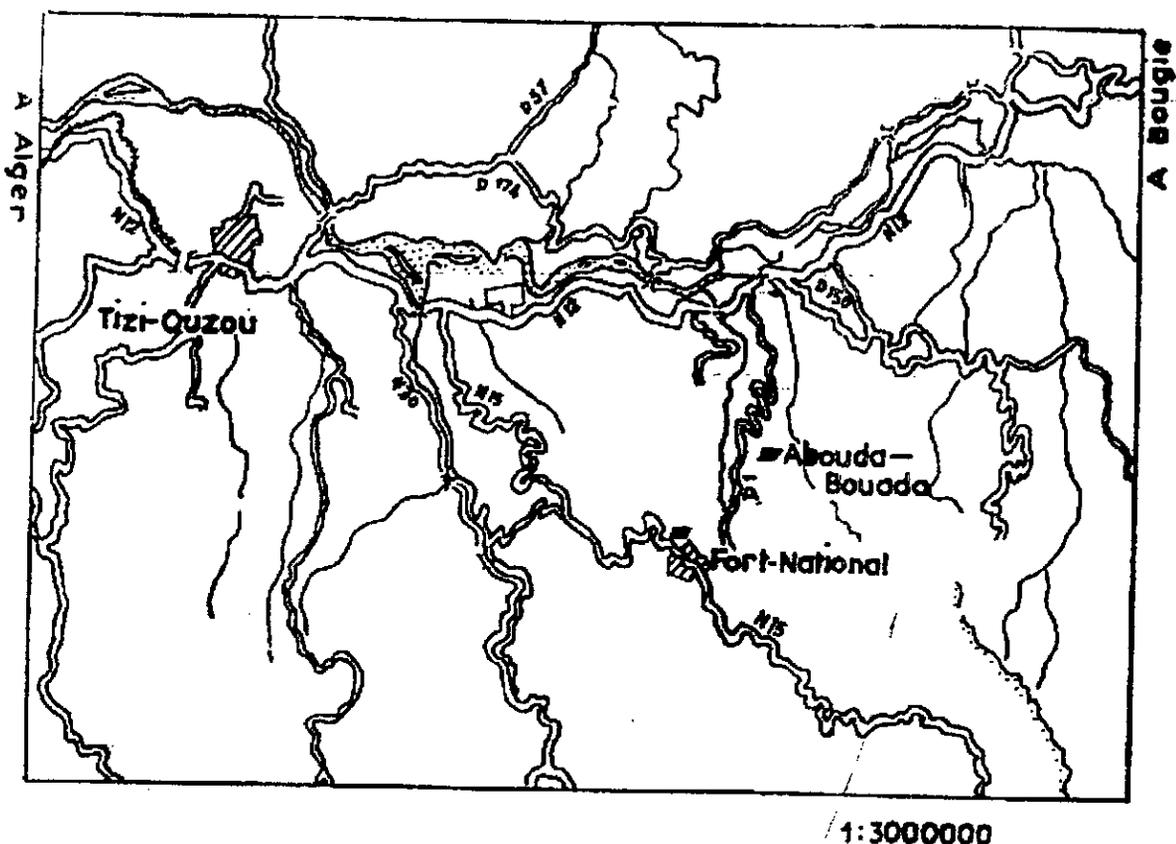
En 1969, le gisement a été étudié par les géologues chinois ; ils ont creusé quelques tranchées et prélevé II échantillons, qui ont été soumis aux analyses chimiques.

D'après les données des résultats des analyses chimiques des II échantillons, la mission chinoise a tiré la conclusion que les pegmatites du gisement d'Abouda Bouada peuvent être utilisées pour la production de la céramique.

I-2-2- Situation géographique :

Le gisement des pegmatites d'Abouda Bouada est situé à 4km au Nord Est de Fort-National et à 200m au Sud de la route goudronnée de Fort-National, en travers le village Isaoumen dans la direction de la route N°12, (**Fig.I.2.1**). Dans les limites du gisement, les côtes absolues varient de 400 à 550m. Le flanc Est de la montagne est traversée dans les limites du gisement de l'Ouest à l'Est par un profond ravin avec des pentes de 30 à 45°.

Le relief du gisement de pegmatites est favorable à son extraction à ciel ouvert. Les eaux des fissures seront drainées dans les ravins situés en contrebas.



Légende: ■ Indices de feldspaths

Fig.I.2.1. Carte géographique du gisement d'Abouda-Bouada

I-2-3- Géologie du gisement :

La région étudiée se situe au graben Fort-National, dépendant du massif de grande Kabylie. Ce graben se présente sous forme ovale, axée EW, avec une longueur de 20km, avec une largeur de 10km environ. Le terrain contient principalement des granulites à biotites et des micaschistes, coupés par les filons tardifs de pegmatites, d'aplites et de granites. Le métamorphisme, comme le montre l'étude de la géologie régionale devait être attribuée à la période calédonienne, (Fig.II.2.2).

II- Etude pétrographique et minéralogique:

La description d'un tel minerai est basée sur l'étude de sa pétrographie et de sa minéralogie.

Pour réaliser ces opérations, on a préparé des lames minces à cet effet.

II-1- Etude pétrographique:

Cette étude est faite par l'observation de lames minces au microscope polarisant préparées au niveau du laboratoire de minéralogie de l'ENP ; les observations donnent les résultats suivants :

1. Pour le gisement d'Ain-Barbar : La roche est une rhyolite de couleur blanchâtre à ocre. Les phénocristaux de quartz et de feldspaths sont peu nombreux. Les oxydes de fer noirs parsèment la roche.

Au microscope, on remarque surtout du feldspath (plagioclase et orthose) et du quartz, avec de rares lamelles de biotite. Les oxydes de fer opaques complètent la paragenèse.

La pâte est entièrement cristallisée en agrégats, où le quartz prédomine largement sur les feldspaths. Quelques plages limpides de quartz secondaires sont visibles, associées souvent à une chlorite verte.

2. Pour le gisement d'Abouda-Bouada : La roche, qui est un pegmatite présente des cristaux grossiers automorphes de feldspaths à macles répétées de l'albite, du quartz également en gros cristaux automorphes, et du mica, essentiellement de la muscovite montrant des couleurs de biréfringence élevées. On rencontre parfois des cristaux de biotite ; cet ensemble est noyé par une matière brunâtre à rougeâtre (oxyde de fer), qui envahie la roche. Des oxydes de fer opaques complètent la paragenèse.

Dans l'annexe n° 2, nous montrons quelques photos de lames minces des échantillons étudiés.

II-2- Analyse minéralogique :

L'analyse minéralogique a pour objectif la détermination des éléments constituant le minerai étudié.

D'après les données de l'entreprise SOFELD, le feldspath d'Ain-Barbar est composé par :

Minéral	%
Albite	2.54
Anorthite	0.18
Orthose	58.21
Quartz	33.49
Phyllite	3.80
Apatite	0.47

Tab.II.2. Composition minéralogique du feldspath d'Ain-Barbar

III- Composition chimique du tout-venant des deux gisements :

Les analyses chimiques complètes des tout-venants montrent la composition du feldspath des deux gisements :

Composition chimique Gisement	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	PAF
	Ain Barbar	71.97	0.14	13.98	1.27	0.33	0.32	4.09	4.90	0.16	<0.05
Kabylie I	72.60	<0.05	14.32	1.53	0.16	<0.05	4.51	5.0	0.14	<0.05	0.97
Kabylie II	66.48	<0.05	17.58	1.47	0.31	0.15	6.35	4.68	0.14	<0.05	1.85

Tab.III. composition chimique du tout-venant d'Ain-Barbar et d'Abouda-Bouada

IV- Echantillonnage :

L'échantillonnage des minerais a pour but la sélection d'un échantillon représentatif du tout-venant. Cette technique est utilisée le plus souvent pour confirmer la rentabilité des gisements, pour contrôler le produit à la sortie de l'approvisionnement, ...etc.

IV-1- Echantillonnage sur site :

Dans le cadre de l'étude de la rentabilité du gisement d'Abouda-Bouada (Kabylie), nous avons effectué une mission d'échantillonnage le 28 avril 2002. Les prélèvements ont été réalisés à la surface du gisement (zones d'affleurement) : quatre échantillons ont été prélevés.

Pour le gisement d'Ain-Barbar, l'entreprise SOFELD nous a fourni des échantillons provenant du bloc 5.

Le tableau suivant résume l'ensemble des informations concernant chaque échantillon, (Tab.IV.1) :

Gisement	Coordonnées			Nature de la roche	Nom d'échantillon	Poids (kg)
	X	Y	L			
Ain-Barbar	X ₁ = 930.075	Y ₁ = 418.900	450 – 535	Filons de rhyolite affleurée	AB	≈ 300
	X ₂ = 930.350	Y ₂ = 418.975				
Abouda-Bouada	X ₁ = 636.650	Y ₁ = 374.860	480 – 540	Filons de pegmatite affleurée	K	78
	X ₂ = 636.675	Y ₂ = 374.900				

Tab.IV.1. Quelques informations concernant les lieux de prélèvement

IV-2- Echantillonnage au laboratoire :

L'échantillonnage au laboratoire a pour objet, la réduction des échantillons provenant du chantier jusqu'à l'obtention de prises suffisantes pour les essais en laboratoire, tout en étant représentatif de tout l'ensemble.

Différents procédés sont appliqués pour réaliser cette étape :

IV-2-1- Quartage manuel :

Il se pratique à la pelle (dans le chantier) ou avec une spatule (en laboratoire). Son principe est simple : La matière ainsi prélevée est mise en tas conique, puis en enfonçant vers le bas de la manière à obtenir une couche de forme cylindrique de faible hauteur ; cette couche est divisée en quatre secteurs par deux lignes diamétrales se coupant à angle

droit. On rejette deux secteurs opposés par le sommet, et avec les deux autres secteurs on refait les mêmes étapes jusqu'à obtention de l'échantillon voulu.

IV-2-2- Diviseur à couloirs :

Les diviseurs à couloirs sont utilisés pour partager l'échantillon en deux parts similaires : une part étant utilisée pour les analyses et essais technologiques, l'autre part étant stockée comme témoins.

Ces appareils sont destinés pour les matériaux secs ou légèrement humides.

IV-2-3- Echantillonnage mécanique : Nécessite des machines spéciales.

Nous avons utilisé dans notre travail les deux premières techniques.

Pour le gisement d'Abouda Bouada, on a deux genres d'échantillons où, l'un représente 3 prélèvements presque identiques, quant au 4^e prélèvement, il s'agit d'un échantillon qui présente une différence par son altération, ce qui explique sa nomination **KI** et **KII**.

La préparation mécanique des échantillons étudiés apparaît dans le schéma suivant (**Schéma.1**):

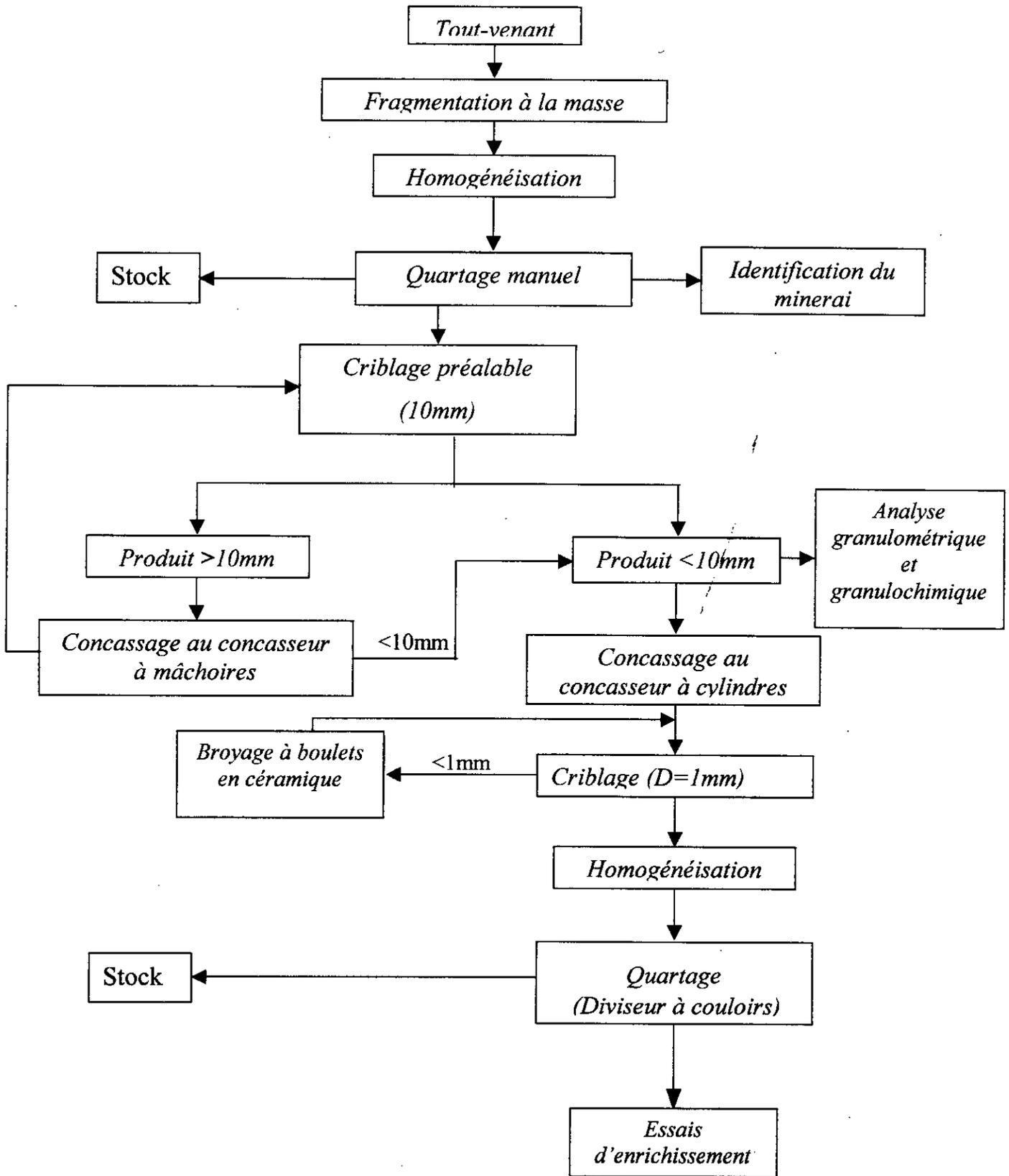


Schéma.1. Préparation mécanique du minéral pour les opérations de traitement

V- Identification du minerai du gisement d'Ain-Barbar et de Kabylie :

Dans le stade de la détermination des caractéristiques physiques et physico-mécaniques du minerai, on a prélevé des lots d'échantillons bien préparés.

Les caractéristiques déterminées sont: *La Masse Volumique, Le Taux d'Humidité, La Porosité, et La Dureté, (voir annexe 1).*

V-1- Calcul de la masse volumique :

La masse volumique d'un matériau correspond à la masse contenue dans un volume égal à l'unité.

La masse volumique est calculée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Le tableau ci-après résume les mesures des masses volumiques des deux gisements :

<i>Echantillons</i>	<i>Masse (g)</i>	<i>Volume (ml)</i>	<i>Masse volumique (g/cm³)</i>
Echantillon de AIN BARBAR (E.A.B)	140	64	2.19
Echantillons N°1,2,3 d'Abouda Bouada (KI)	497.1	227.5	2.18
Echantillons N°4 d'Abouda Bouada (KII)	120.3	68	1.77

Tab.V.1. Résultats des calculs de la masse volumique

V-2- Calcul du taux d'humidité :

Les matériaux naturels contiennent presque toujours de l'eau, dont la connaissance de la quantité de l'eau ainsi emprisonnée est très importante.

Pour le calcul de la teneur d'eau d'un matériau, on mesure la perte de masse lors de son séchage à l'étuve, et on divise cette valeur par la masse sèche du matériau.

Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$T(\%) = \frac{\Delta M}{M_{s.s.}} * 100$$

Le minerai doit être séché à une température $\approx 103^{\circ}\text{C}$, pendant une durée de 2heures.

<i>Echantillons</i>	<i>Masse initiale (g)</i>	<i>Masse sèche (g)</i>	<i>Taux d'humidité (%)</i>
Echantillon de AIN BARBAR	369.5	368.6	0.24
Echantillons N°1,2,3 d'Abouda Bouada (KI)	848.0	842.1	0.70
Echantillons N°4 d'Abouda Bouada (KII)	391.4	390.7	0.18

Tab.V.2. Résultats du calcul du taux d'humidité

V-3- Calcul de la porosité :

Toutes les roches présentent une proportion plus ou moins grande de fissures et des vides, qui renferment le plus souvent de l'eau. Donc, la porosité d'un matériau représente le pourcentage des vides dans l'unité du volume de ce même matériau.

La porosité est calculée par la formule suivante :

$$P = \frac{(M_1 - M_0) \cdot d}{M_0} * 100$$

Echantillon	Masse sèche (M₀) (g)	Masse humide (M₁) (g)	Porosité (%)
Echantillon de AIN BARBAR	368.6	380.0	6.77
Echantillons N°1,2,3 d'Abouda Bouada (KI)	842.1	871.6	7.64
Echantillons N°4 d'Abouda Bouada (KII)	390.7	397.5	3.08

Tab.V.3. Résultats de calcul de la porosité

V-4- Calcul de la dureté :

La dureté est définie par la résistance d'un minerai à la rayure ou à l'abrasion ; en pratique, un minéral est dit plus dur qu'un autre s'il raye ce dernier.

La dureté est déterminée par la capacité pour une surface minérale tendre à résister aux rayures. Une surface molle se raye plus facilement qu'une surface dure; ainsi, un minéral dur, tel que le diamant, peut rayer un minéral tendre tel que le graphite, et le minéral dur ne sera pas rayé par le minéral tendre. La dureté relative des minéraux est déterminée selon l'échelle de dureté de Mohs (**Annexe 1: Tab.1**)

Pour notre minerai, leur dureté varie de 6 à 7.

VI- Analyse Granulométrique et Granulochimique :**VI-1- Analyse granulométrique:**

Avant le traitement de n'importe quel minerai, il est très important de savoir la répartition des classes granulométriques constituant ce minerai ; pour cela, une analyse granulométrique détermine la distribution, en poids, des fractions composant ce matériau.

L'analyse granulométrique se pratique par tamisage à l'aide d'une série de tamis de maille carrée de la série AFNOR (NF-X11-501).

On a tracé les caractéristiques granulométriques représentatives des données extraites des essais réalisés.

a)- Gisement d'Ain-Barbar:

<i>Diamètre des tamis (mm)</i>	<i>Refus (%)</i>	<i>Refus cumulé (%)</i>	<i>Tamisât cumulé (%)</i>
6.3	10.74	10.74	89.26
5	13.82	24.56	75.44
4	9.76	34.32	65.68
3.15	12.38	46.7	53.3
2.5	21.46	68.16	31.84
1.6	13.24	81.4	18.6
0.8	5.17	86.57	13.43
0.63	2.68	89.25	10.75
0.5	1.32	90.57	9.43
0.315	1.85	92.42	7.58
0.2	1.38	93.8	6.2
0.1	1.96	95.76	4.24
Total	99.86	100	0

Tab.VI.1.1. Résultats de l'analyse granulométrique du minerai de AIN-BARBAR

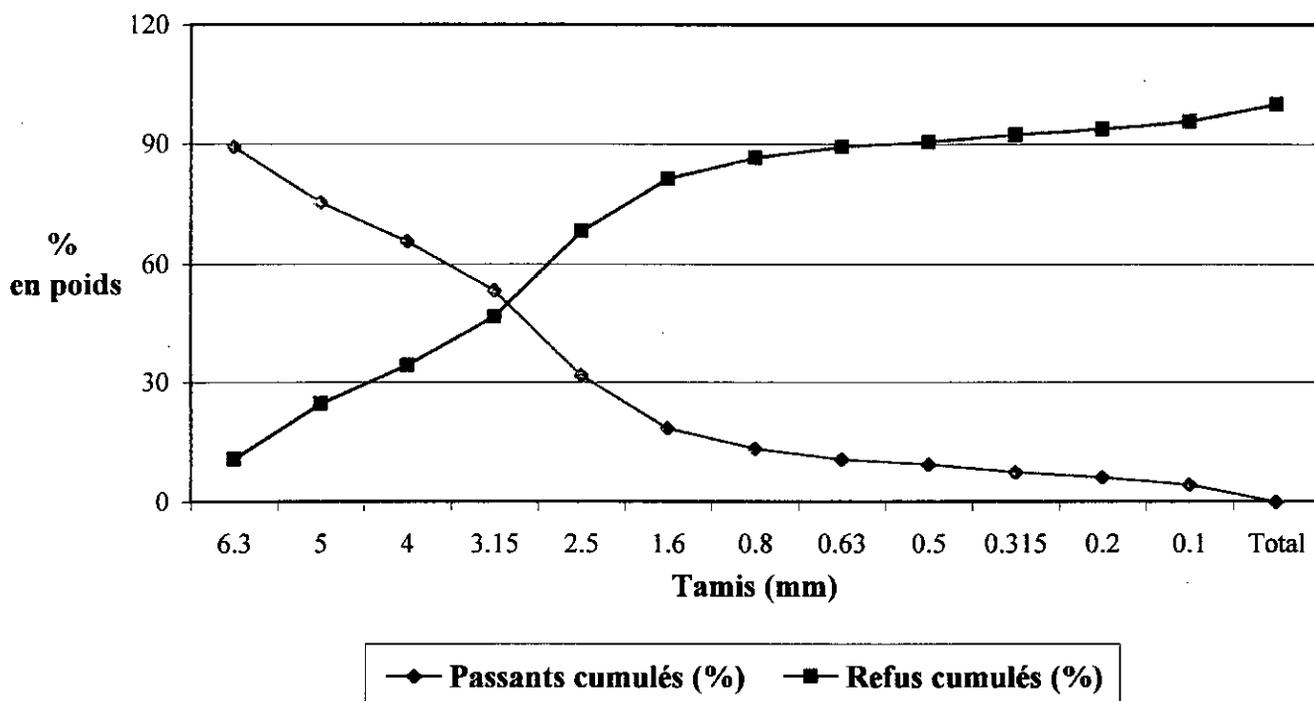


Fig.VI. 1.1. Caractéristique granulométrique du minerai fedspathique d'Ain Barbar

b)- Gisement de Kabylie I:

<i>Diamètre des tamis (mm)</i>	<i>Refus (%)</i>	<i>Refus cumulé (%)</i>	<i>Tamisât cumulé (%)</i>
6.3	10.95	10.95	89.05
5	5.69	16.64	83.36
4	13.82	30.46	69.54
3.15	8.95	39.41	60.59
2.5	10.38	49.79	50.21
1.6	12.96	62.75	37.25
0.8	14.88	77.63	22.37
0.63	4.40	82.03	17.97
0.5	2.74	84.77	15.23
0.315	4.73	89.5	10.50
0.2	2.67	92.17	7.83
0.1	3.24	95.41	4.59
Total	99.71	100	0

Tab.VI.1.2. Résultats de l'analyse granulométrique du minerai de Kabylie I

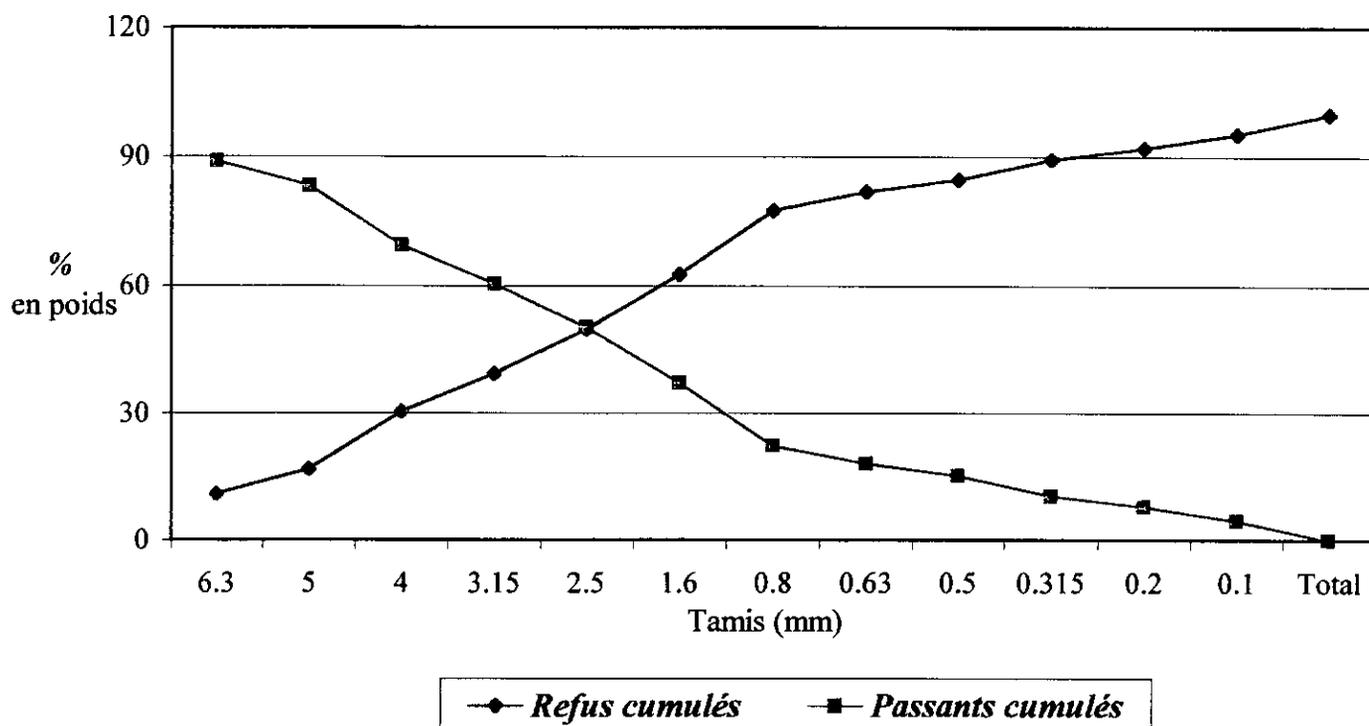


Fig.VI. 1.2. Caractéristique granulométrique du minerai de feldspath d'Abouda Bouade (KI)

c)- Gisement de Kabylie II:

<i>Diamètre des tamis (mm)</i>	<i>Refus (%)</i>	<i>Refus cumulé (%)</i>	<i>Tamisât cumulé (%)</i>
6.3	13.43	13.43	86.57
5	4.02	17.45	82.55
4	8.91	26.36	73.64
3.15	4.15	30.51	69.49
2.5	9.83	40.34	59.66
1.6	13.58	53.92	46.08
0.8	17.62	71.54	28.46
0.63	5.36	76.9	23.10
0.5	3.60	80.5	19.50
0.315	5.55	86.05	13.95
0.2	4.09	90.14	9.86
0.1	5.16	95.3	4.7
Total	99.98	100	0

Tab.V.1.3. Résultats de l'analyse granulométrique du minerai de Kabylie II

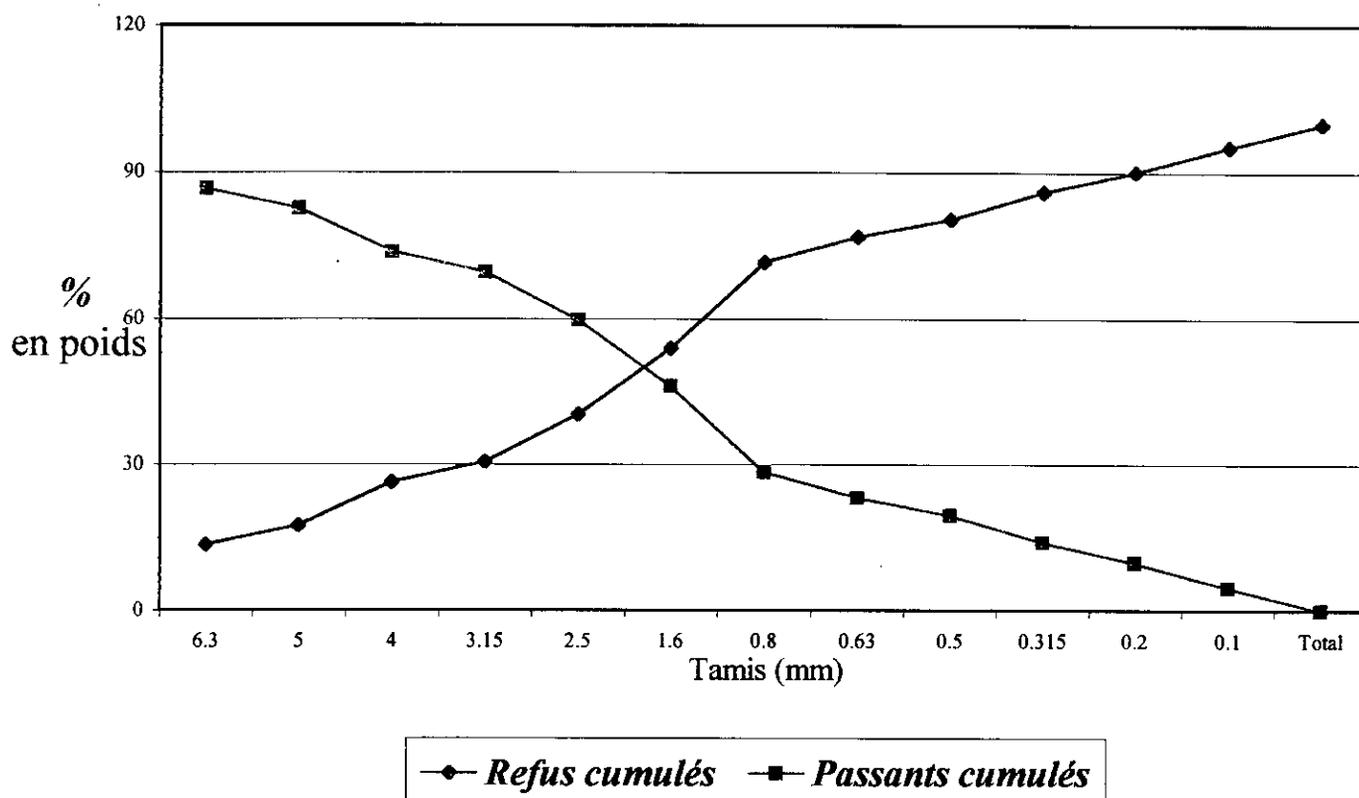


Fig.VI. 1.3. Caractéristique granulométrique du minerai de feldspath d'Abouda Bouada (KII)

Interprétation des résultats :

D'après les résultats obtenus (Tab.1,2,3), et représentés par les graphes (Fig.1,2,3) on conclue que :

La répartition des poids du minerai pour les trois échantillons étudiés (Ain-Barbar, KI, KII) diminue régulièrement, et de façon continue et homogène lorsque la grosseur des grains tend à diminuer.

Pour les tranches de 0.8mm à 0.1mm, cette diminution est négligeable par rapport aux tranches supérieures, ce qui signifie que la libération des particules fines (<1mm) s'avère mauvaise.

Ces résultats confirment que les minerais étudiés sont durs ; ce qui signifie que pour obtenir meilleure libération des particules <1mm, il faut passer à un autre stade de concassage.

VI-2- 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 les travaux que nous avons réalisés, ne sont présentées que les tranches entre 0.8mm et 0.1mm, car l'analyse granulochimique des tranches supérieures a montré que les teneurs en Fe₂O₃ sont faibles. Cette analyse concerne la détermination de la teneur en oxydes de fer des fractions granulométriques choisies.

a)- Gisement de Ain-Barbar:

<i>Fraction (mm)</i>	<i>Poids (%)</i>	<i>Teneur en Fe₂O₃ (%)</i>
-0.8 ; +0.63	5.17	0.6
-0.63 ; +0.5	2.68	0.6
-0.5 ; +0.315	1.32	0.67
-0.315 ; +0.2	1.85	0.72
-0.2 ; +0.1	1.38	0.78
-0.1	1.96	0.96

Tab.VI.2.1. Résultats de l'analyse granulochimique du feldspath de Ain-Barbar

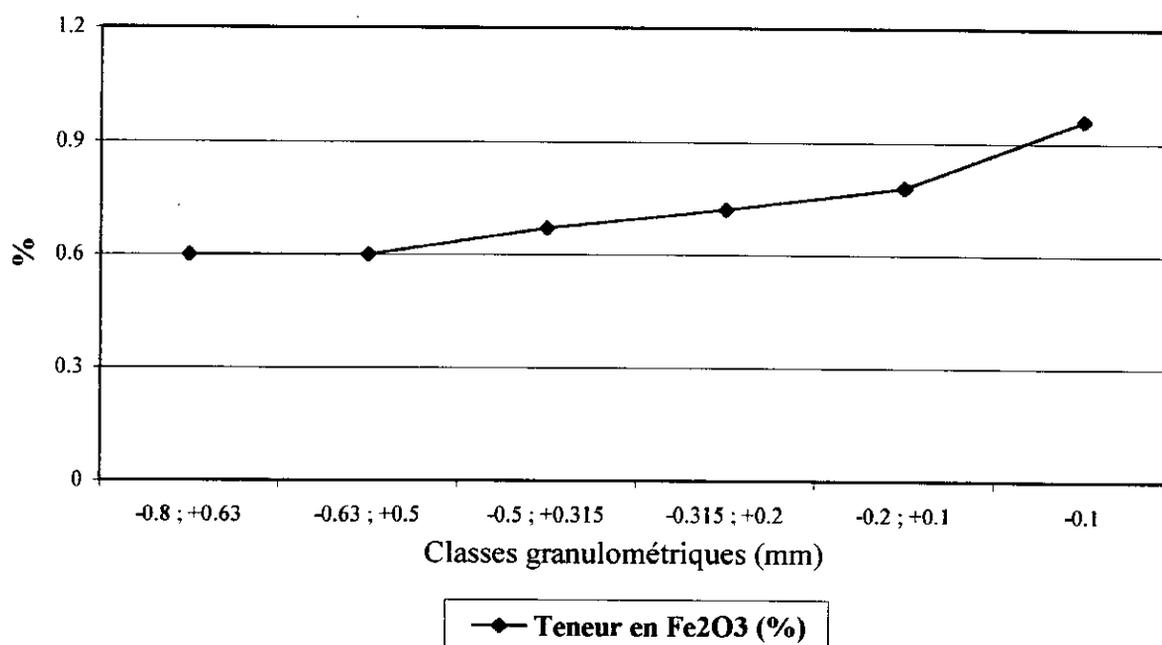


Fig.VI. 2.1. Résultats d'analyse granulochimique du feldspath d'Ain-Barbar

b)- Gisement de Kabylie I:

<i>Fraction (mm)</i>	<i>Poids (%)</i>	<i>Teneur en Fe₂O₃ (%)</i>
-0.8 ; +0.63	4.40	1.12
-0.63 ; +0.5	2.74	1.12
-0.5 ; +0.315	4.73	1.16
-0.315 ; +0.2	2.67	1.23
-0.2 ; +0.1	3.24	1.57
-0.1	4.30	1.53

Tab.VI.2.2. Résultats d'analyse granulochimique du feldspath d'Abouda Bouada (KI)

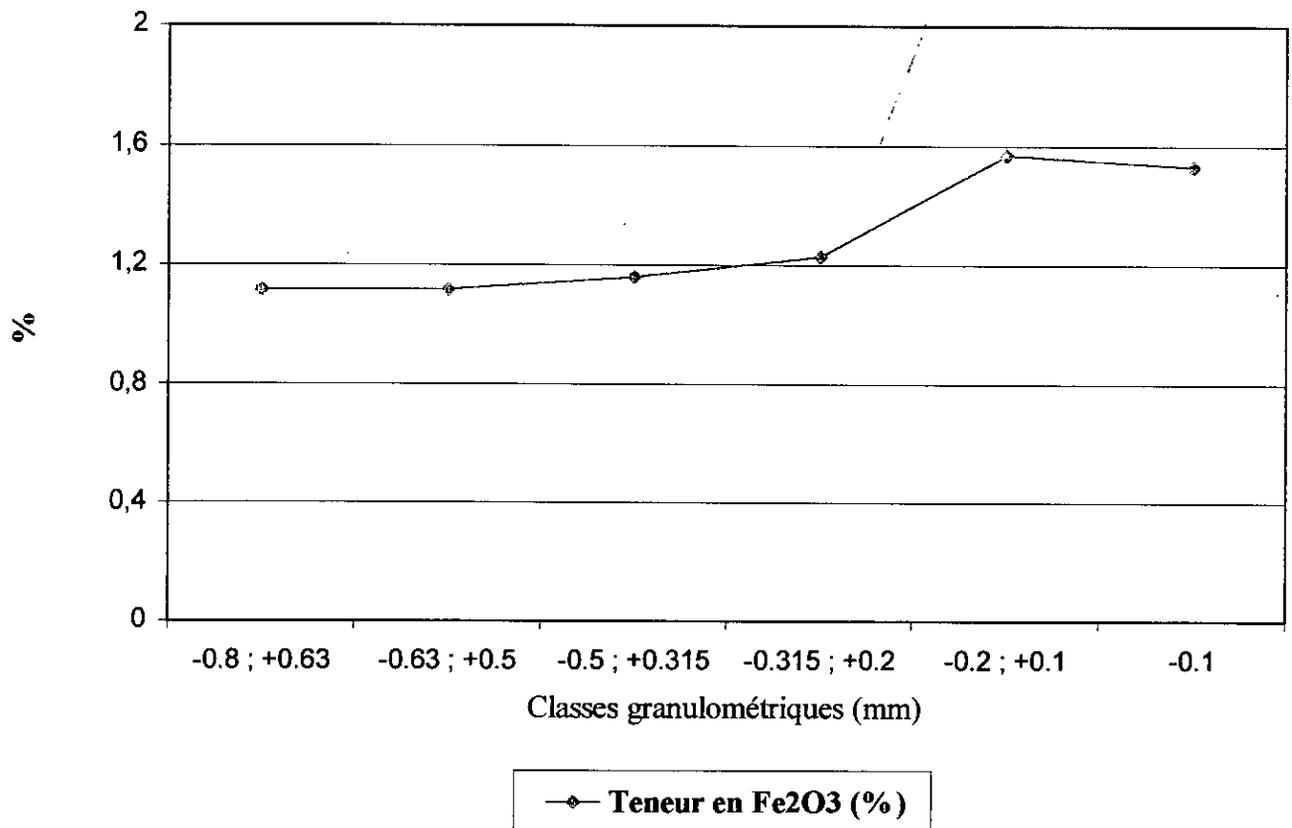


Fig.VI.2.2. Résultats d'analyse granulochimique du feldspath d'Abouda Bouada (KI)

c)- Gisement de Kabylie II:

<i>Fraction (mm)</i>	<i>Poids (%)</i>	<i>Teneur en Fe₂O₃ (%)</i>
-0.8 ; +0.63	5.36	1.05
-0.63 ; +0.5	3.60	1.26
-0.5 ; +0.315	5.55	1.66
-0.315 ; +0.2	4.09	1.76
-0.2 ; +0.1	5.16	1.36
-0.1	4.5	1.17

Tab.VI.2.3. Résultats d'analyse granulochimique du feldspath d'Abouda Bouada (KII)

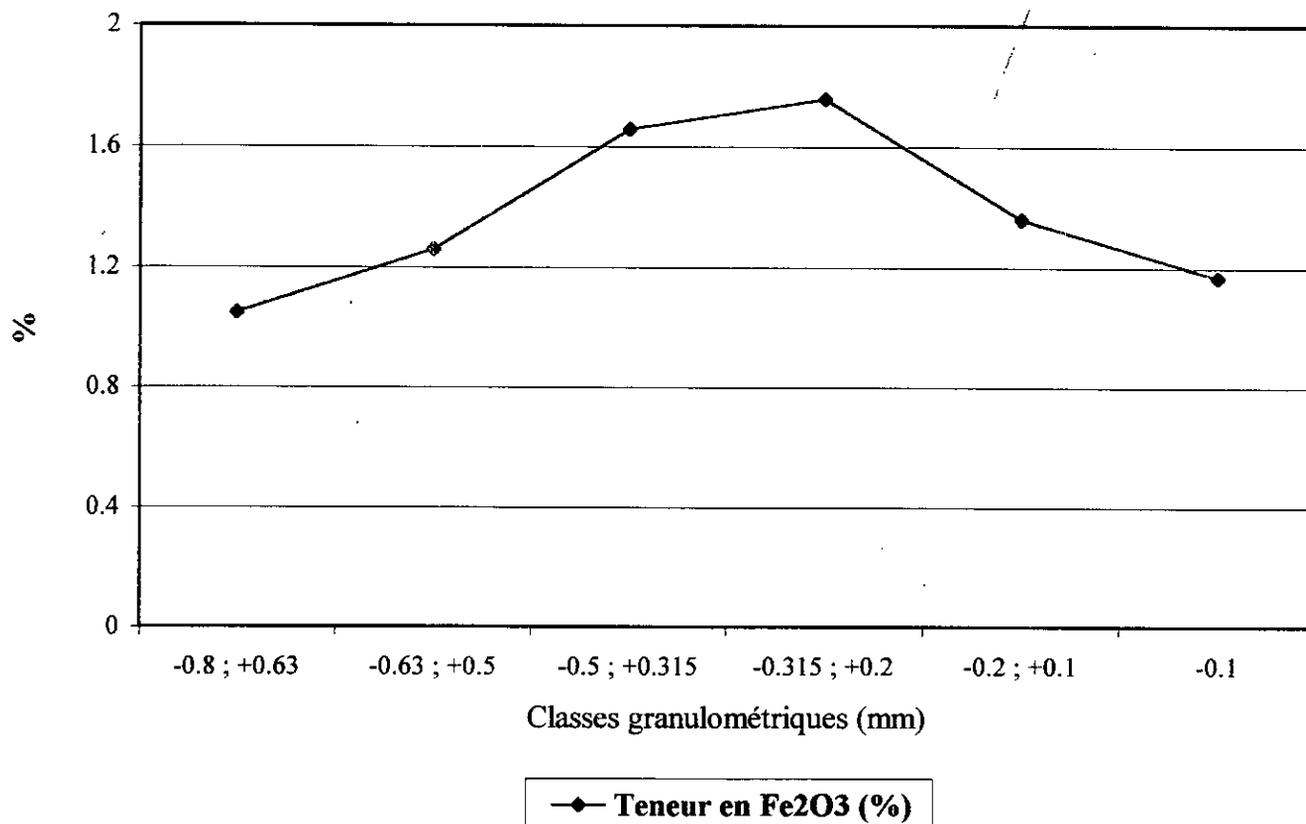


Fig.VI. 2.3. Résultats d'analyse granulochimique du feldspath d'Abouda-Bouada (KII)

Interprétation des résultats :

D'après les graphes (Fig. VI.2.1, VI.2.2, VI.2.3), les analyses chimiques des fractions choisies montrent que :

Les échantillons du gisement d'Ain-Barbar et KI, présentent une distribution assez identique en oxydes de fer dans les tranches de $[-0.8 + 0.63]$ jusqu'à $[-0.5 + 0.315]$, cependant, pour les autres tranches ($[-0.315 + 0.2]$ jusqu'à $[-0.1]$), la distribution semble hétérogène ; ce qui implique que les oxydes de fer soient fortement concentrés dans les tranches inférieures (particules fines), contrairement aux tranches supérieures, où la répartition est moins importante.

Pour les échantillons du minerai KII, nous observons une hétérogénéité dans la répartition des teneurs en Fe_2O_3 , où ces oxydes prédominent fortement dans les tranches $[-0.63 + 0.5]$ jusqu'à $[-0.2 + 0.01]$; par contre pour les deux autres tranches, nous voyons qu'elle est plus ou moins faible. Donc, ce minerai présente une distribution non-uniforme en matière de proportions en Fe_2O_3 .

CHAPITRE II

SÉPARATION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

II-1- Introduction :

L'élimination de l'oxyde de fer est toujours nécessaire, lorsque la teneur en Fe_2O_3 dépasse 0.5%, il provoque une coloration de la porcelaine.

Les techniques de séparation magnétique consistent à soumettre les grains à des forces magnétiques et mécaniques développées par un séparateur.

Le séparateur électromagnétique à sec permet de séparer les particules diamagnétiques des particules magnétiques. Les particules diamagnétiques restent collées au rotor et en sont détachées à l'aide de balais

Les paramètres fonctionnels sont:

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

II-2- Conditions opératoires :

Les essais de séparation électromagnétiques sont réalisés dans le laboratoire de valorisation des minerais de l'Office National de la Recherche Géologique et Minière (O.R.G.M).

L'appareil utilisé est de type CAPRCO (U.S.A) ; les paramètres de cet appareil sont les suivants :

- Vitesse de rotor : 20 tr/mn ;
- Vibration : 20 vibrations/mn ;
- Intensité max : 2.5 à 3 A ;

Le mode d'utilisation de cette machine consiste à verser une quantité de minerai dans une trémie, et par son ouverture vers le bas laisse le minerai s'écouler sur la bande transporteuse, sous forme de minces couches pour assurer une bonne séparation des grains magnétiques.

Dans notre travail, nous avons effectué pour chaque tranche granulométrique deux passages successifs, pour séparer le maximum de particules diamagnétiques (oxyde de fer) et le mica (cas du gisement d'Abouda-Bouada).

Après séparation électromagnétique de ces différentes tranches, nous avons analysé toutes les fractions pour connaître le taux d'élimination des impuretés de fer et de mica. Les résultats des essais réalisés sont résumés dans les tableaux suivants :

II-3- Résultats des essais de séparation électromagnétique:

a)- Gisement d'Ain-Barbar:

Classes mm	Fraction non magnétique		Fraction magnétique	
	Poids	%	Poids	%
-1 ; +0.8	498.1	99.62	1.5	0.30
-0.8 ; +0.63	498.4	99.68	1.1	0.22
-0.63 ; +0.5	497.7	99.54	1.6	0.32
-0.5 ; +0.315	495.8	99.16	2.3	0.46
-0.315 ; +0.2	495.2	99.04	3.4	0.68
-0.2 ; +0.1	488.0	97.60	10.9	2.18

Tab.II.3.1. Résultats des essais de séparation électromagnétique

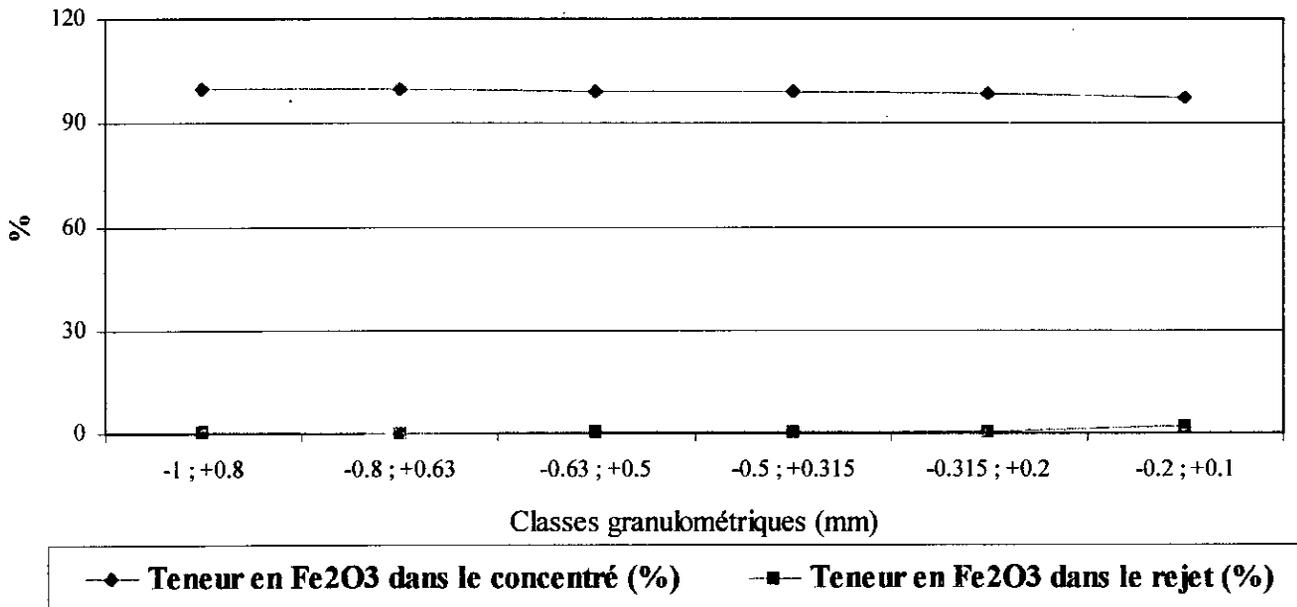


Fig.II.3.1. Résultats des essais de séparation électromagnétique

b)- Gisement de Kabylie I:

Classes mm	Fraction non magnétique		Fraction magnétique	
	Poids	%	Poids	%
-1 ; +0.8	496.8	99.36	1.8	0.36
-0.8 ; +0.63	483.1	96.62	16.2	3.24
-0.63 ; +0.5	477.5	95.5	21.5	4.30
-0.5 ; +0.315	471.4	94.28	27.8	5.56
-0.315 ; +0.2	483.2	96.64	16.5	3.30
-0.2 ; +0.1	477.2	95.44	22.2	4.44

Tab.II.3.2. Résultats des essais de séparation électromagnétique

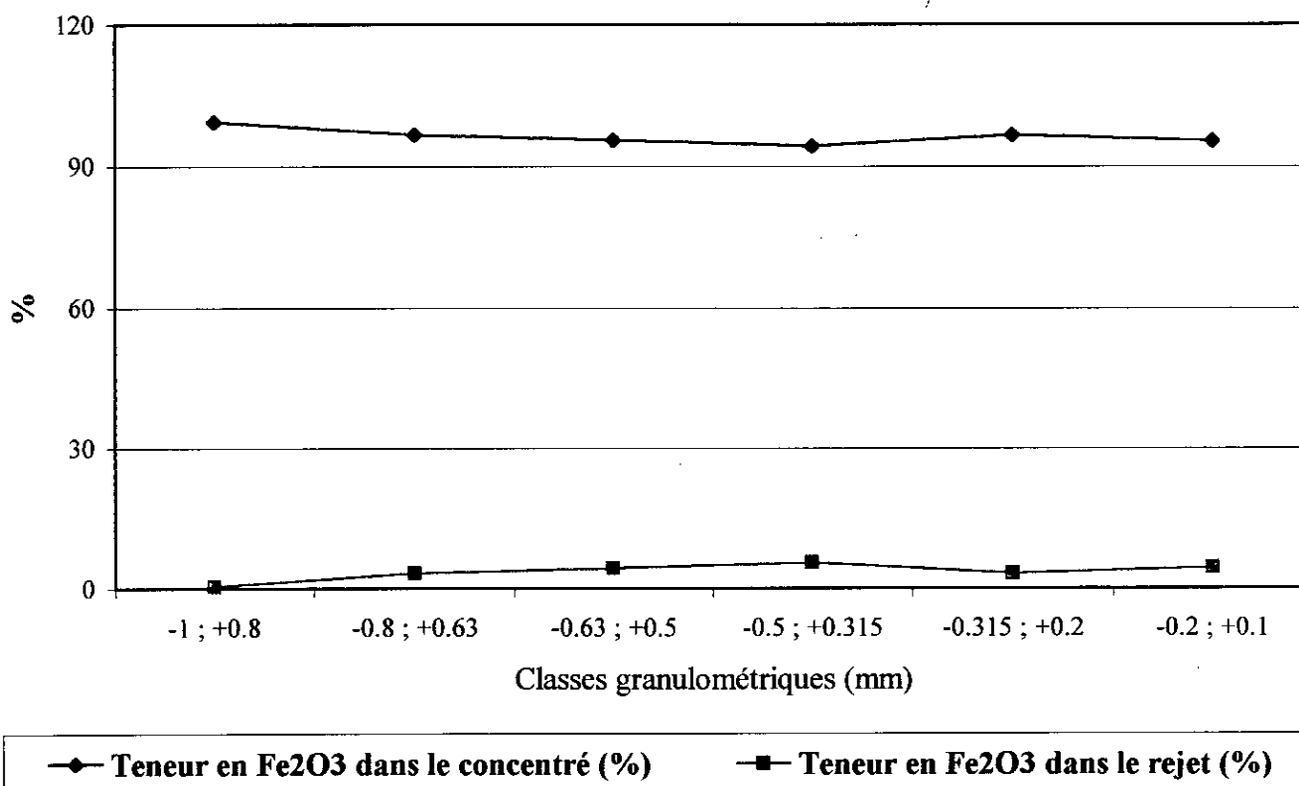


Fig.II. 3.2. Résultats des essais de séparation électromagnétique pour le gisement d'Abouda Bouada (KI)

c)- Gisement de Kabylie II:

Classes mm	Fraction non magnétique		Fraction magnétique	
	Poids	%	Poids	%
-1 ; +0.8	495.5	99.10	4.0	0.80
-0.8 ; +0.63	495.6	99.12	4.2	0.84
-0.63 ; +0.5	494.0	98.80	5.5	1.10
-0.5 ; +0.315	494.2	98.84	5.2	1.04
-0.315 ; +0.2	488.8	97.76	9.3	1.86
-0.2 ; +0.1	487.1	97.42	11.4	2.28

Tab.II.3.3. Résultats des essais de séparation électromagnétique

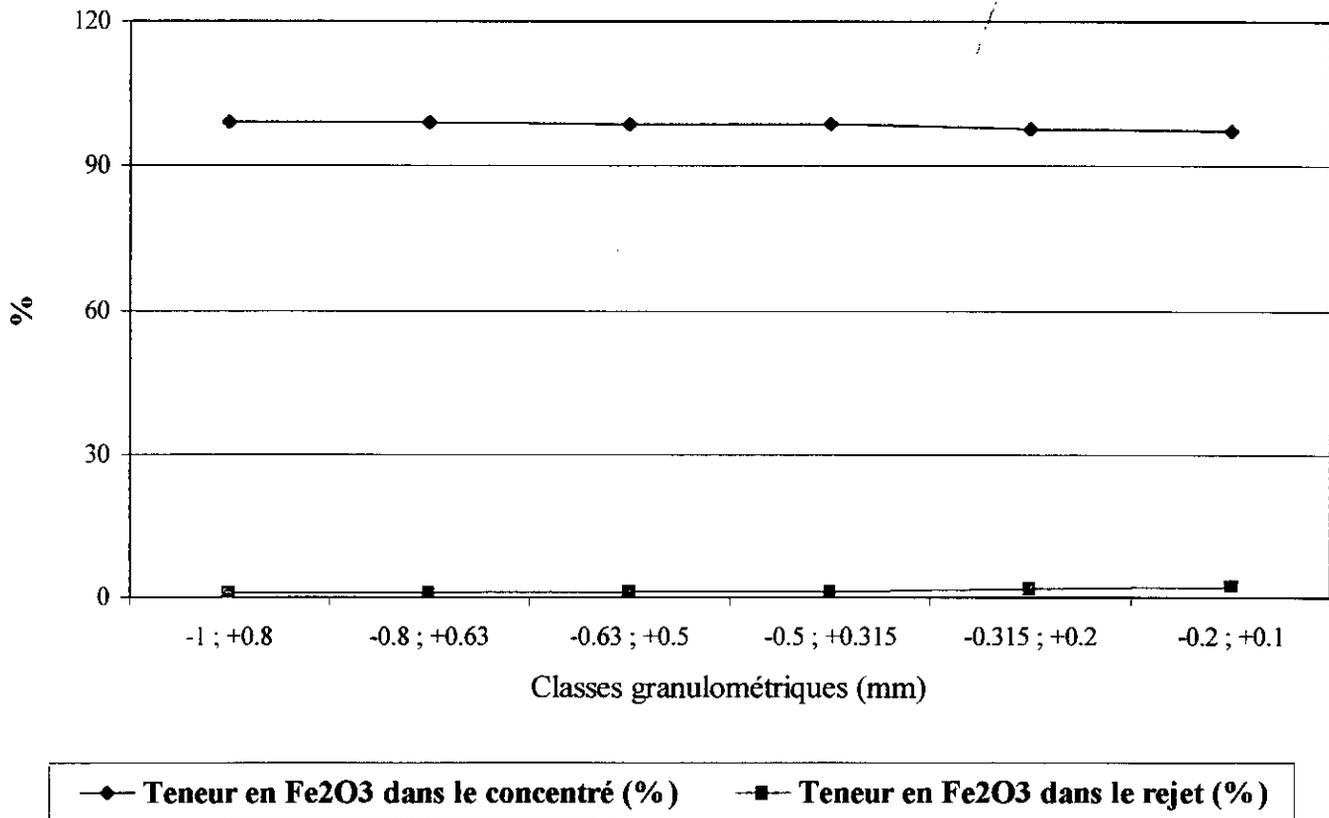


Fig.II.3.3 . Résultats des essais de séparation électromagnétique pour le gisement d'Abouda Bouada (KII)

II-4- Calcul du temps de passage et du débit:

a)- Gisement d'Ain-Barbar:

Classes mm	Temps de passage mn & sec	Débit g/mn
-1 ; +0.8	18' 40''	26.80
-0.8 ; +0.63	21' 05''	23.80
-0.63 ; +0.5	22' 30''	22.22
-0.5 ; +0.315	24' 10''	20.70
-0.315 ; +0.2	25' 55''	19.30
-0.2 ; +0.1	29' 15''	17.10

Tab.II.4.1. Variation des débits et du temps de passage en fonction des grosseurs des grains (gisement d'Ain Barbar)

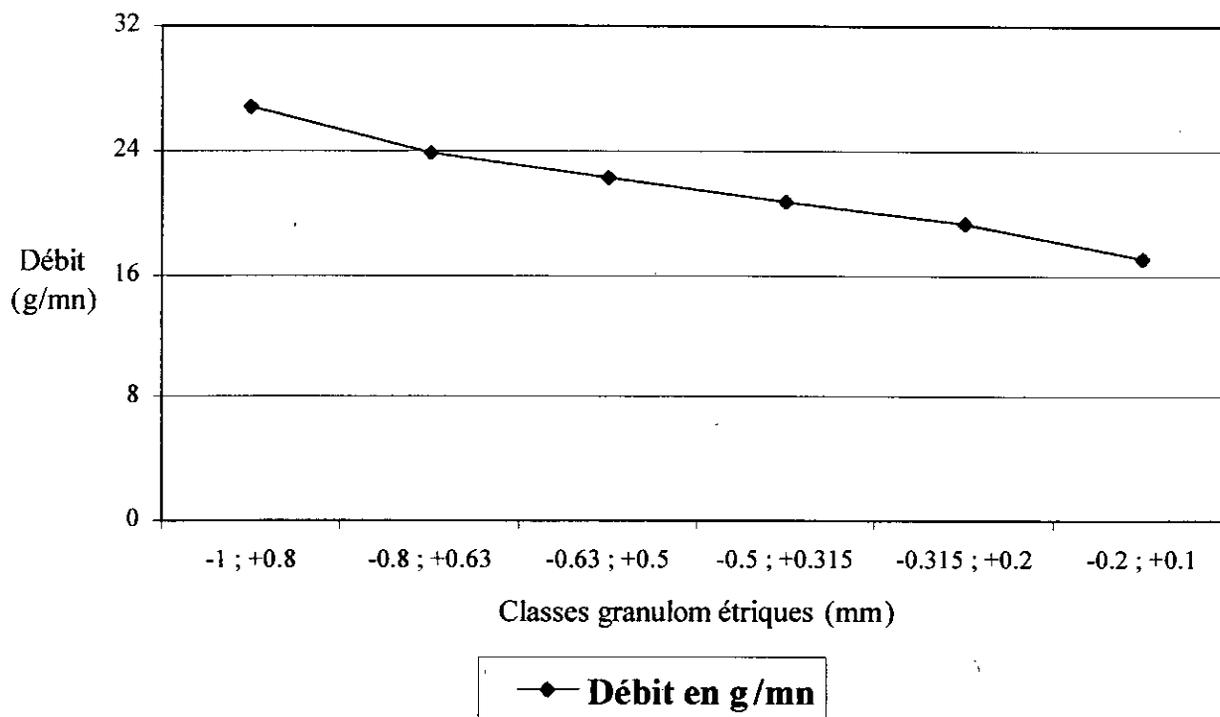


Fig.II.4.1. Variation des débits en fonction des grosseurs des grains (gisement d'Ain-Barbar)

b)- Gisement de Kabylie I:

Classes mm	Temps de passage mn & sec	Débit g/mn
-1 ; +0.8	17' 30''	28.57
-0.8 ; +0.63	20' 25''	24.48
-0.63 ; +0.5	23' 10''	21.58
-0.5 ; +0.315	24' 35''	20.34
-0.315 ; +0.2	26' 45''	18.70
-0.2 ; +0.1	29' 40''	18.86

Tab.II.4.2. Variation des débits et du temps de passage en fonction des grosseurs des grains (Gisement d'Abouda Bouada « KI »)

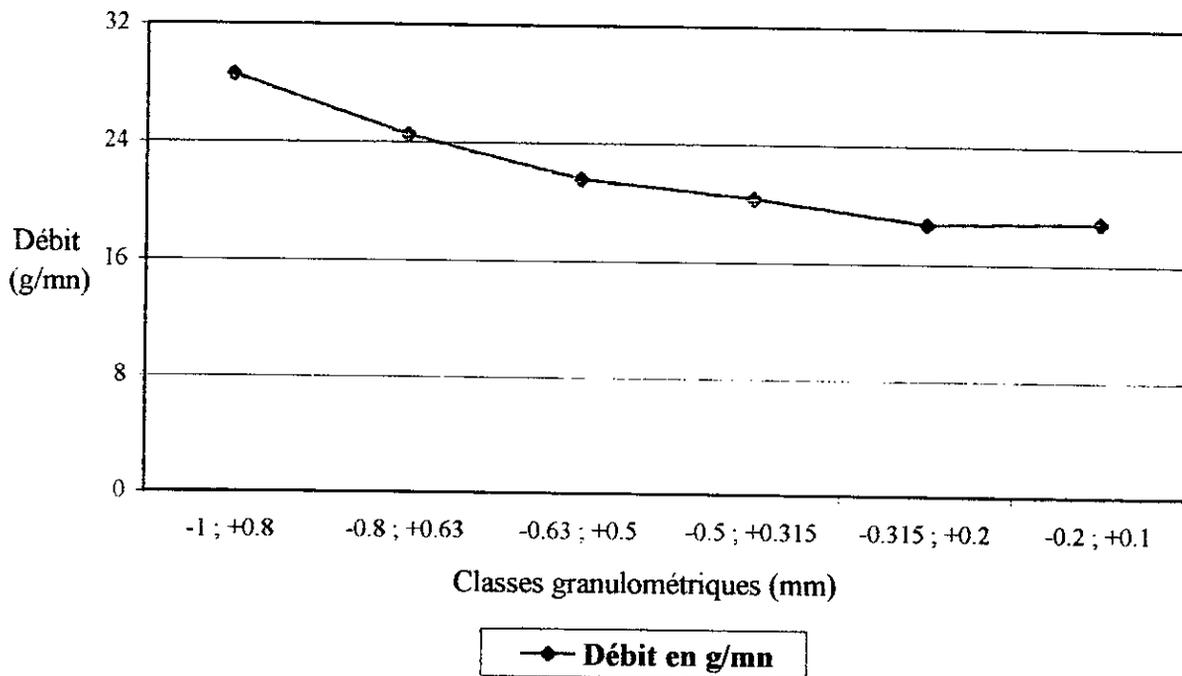


Fig.II. 4.2. Variation des débits en fonction des grosseurs des grains (gisement d'Abouda Bouada "KI")

c)- Gisement de Kabylie II:

Classes mm	Temps de passage mn & sec	Débit g/mn
-1 ; +0.8	18' 20''	27.28
-0.8 ; +0.63	20' 45''	24.10
-0.63 ; +0.5	23' 50''	20.98
-0.5 ; +0.315	26' 30''	18.87
-0.315 ; +0.2	27' 35''	18.13
-0.2 ; +0.1	31' 25''	15.91

Tab.II.4.3. Variation des débits et du temps de passage en fonction des grosseurs des grains (Gisement d'Abouda Bouada « KII »)

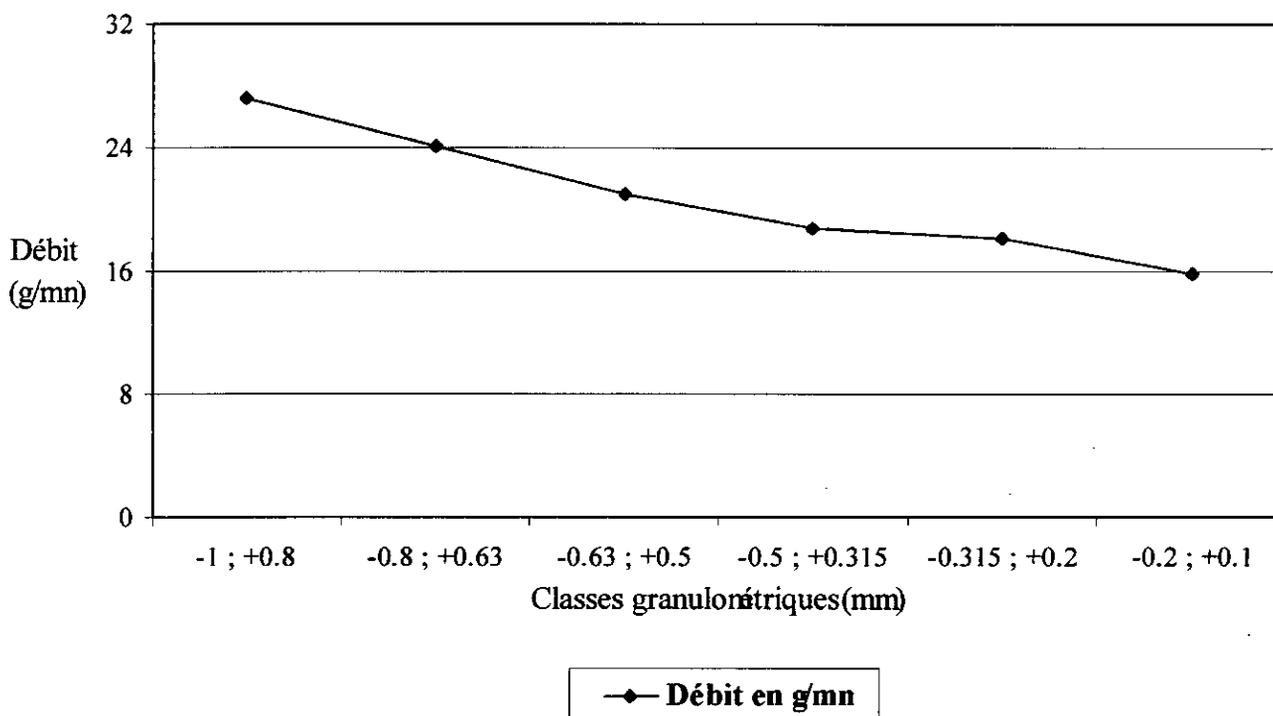


Fig.II.4.3. Variation des débits en fonction des grosseurs des grains (Gisement d'Abouda Bouada « KII »)

II-5- Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques :

a)- Gisement d'Ain-Barbar:

Classes mm	Fraction initiale		Fraction non magnétique		
	Poids	Teneur en Fe ₂ O ₃	Poids	%	Teneur en Fe ₂ O ₃
-0.8 ; +0.63	500	0.6	498.4	99.68	0.51
-0.63 ; +0.5	500	0.6	497.7	99.54	0.51
-0.5 ; +0.315	500	0.67	495.8	99.16	0.51
-0.315 ; +0.2	500	0.72	495.2	99.04	0.55
-0.2 ; +0.1	500	0.78	488.0	97.60	0.51

Tab.II.5.1. Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques (gisement d'Ain Barbar)

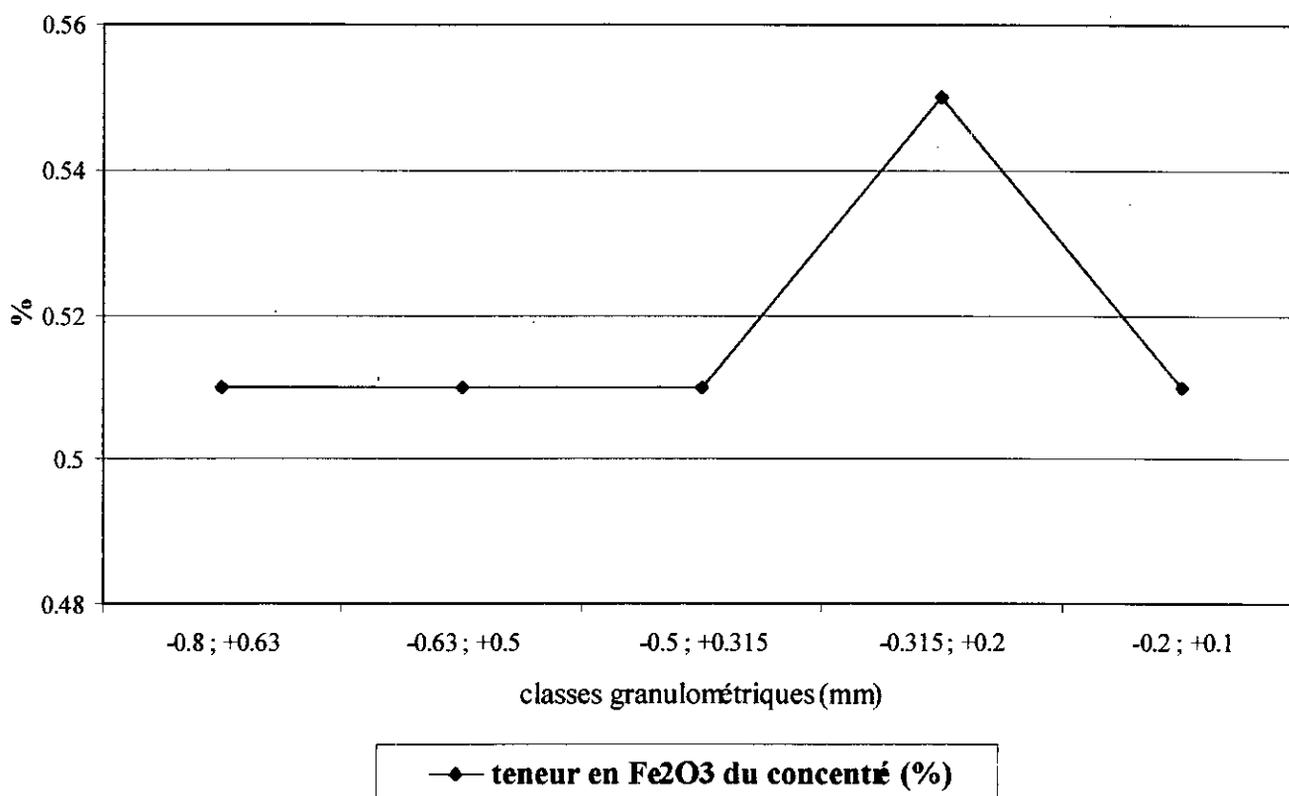


Fig.II.5.1. Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques (gisement d'Ain-Barbar)

b)- Gisement de Kabylie I:

Classes mm	Fraction initiale		Fraction non magnétique		
	Poids	Teneur en Fe ₂ O ₃ (%)	Poids	%	Teneur en Fe ₂ O ₃ (%)
-0.8 ; +0.63	500	1.12	483.1	96.62	0.65
-0.63 ; +0.5	500	1.12	477.5	95.5	0.73
-0.5 ; +0.315	500	1.16	471.4	94.28	0.80
-0.315 ; +0.2	500	1.23	483.2	96.64	0.94
-0.2 ; +0.1	500	1.57	477.2	95.44	1.23

Tab.II.5.2. Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques (gisement d'Abouda Bouada « KI »)

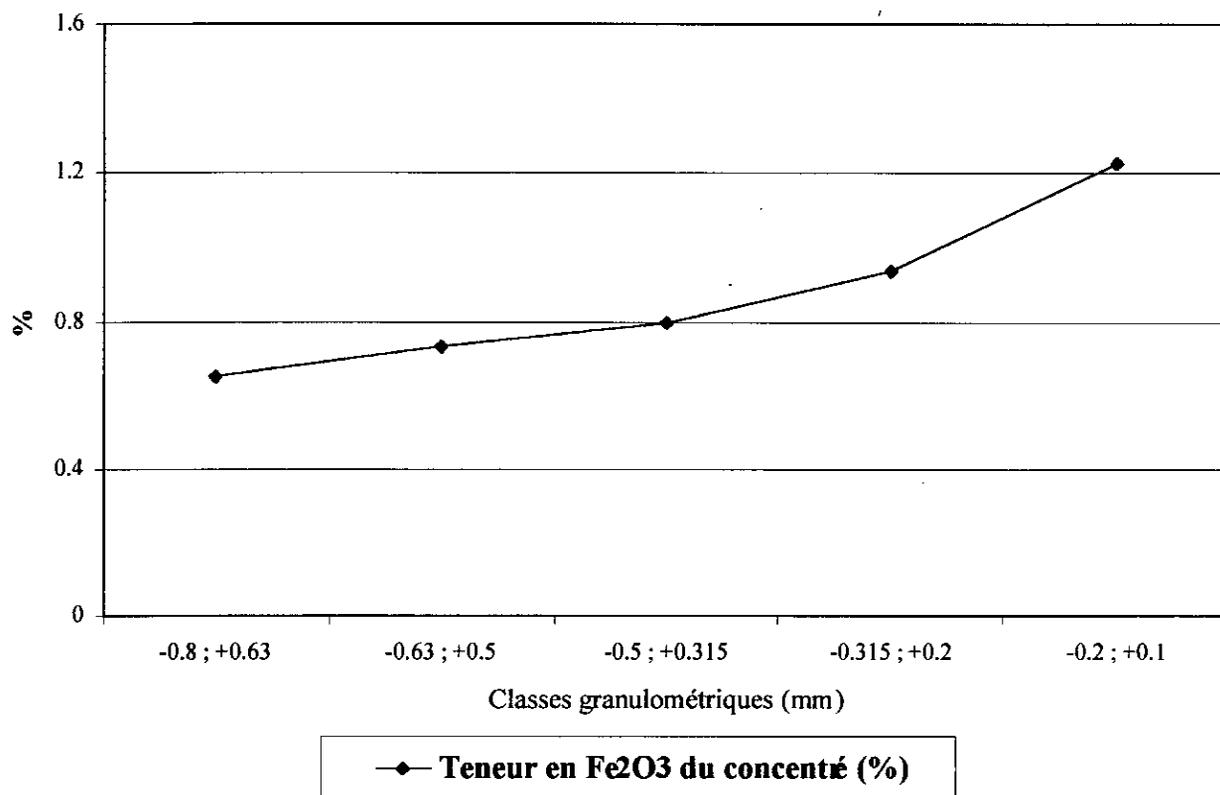


Fig.II.5.2. Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques (gisement d'Abouda-Bouada [KI])

c)- Gisement de Kabylie II:

Classes mm	Fraction initiale		Fraction non magnétique		
	Poids	Teneur en Fe_2O_3	Poids	%	Teneur en Fe_2O_3
-0.8 ; +0.63	500	1.05	495.6	99.12	0.33
-0.63 ; +0.5	500	1.26	494.0	98.80	0.51
-0.5 ; +0.315	500	1.66	494.2	98.84	0.65
-0.315 ; +0.2	500	1.76	488.8	97.76	0.94
-0.2 ; +0.1	500	1.36	487.1	97.42	1.26

Tab.II.5.3. Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques (gisement d'Abouda Bouada « KII »)

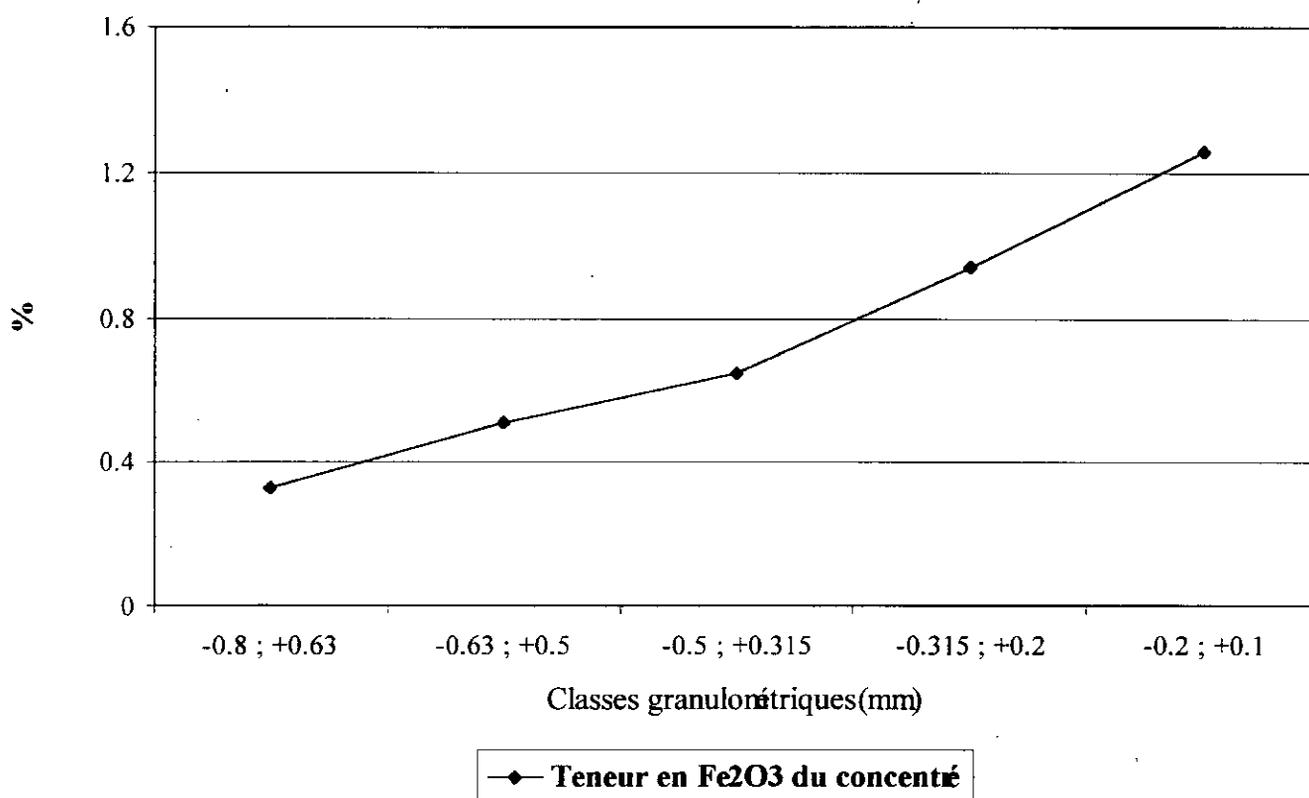


Fig.II.5.3. Résultats des analyses chimiques pour les fractions non magnétiques (gisement d'Abouda-Bouada)

Conclusion :

D'après les résultats des essais que l'on a réalisés, on peut conclure que :

- 1- Pour l'élimination des fractions magnétiques par séparation électromagnétique, le taux d'élimination est plus ou moins faible, ce qui traduit la non-efficacité de l'appareil utilisé, où le champ magnétique appliqué a été faible.
- 2- Dans les analyses chimiques, on a remarqué que pour le gisement d'Ain-Barbar la teneur en Fe_2O_3 est stable sauf pour la classe de $[-0.315 +0.2]$, marquée par une teneur assez élevée. Donc, en comparant avec les teneurs des fractions initiales, on remarquera que la séparation ne donne pas de bon résultat; pour le gisement d'Abouda-Bouada les résultats sont meilleurs, hormis pour les classes $[-0.315 +0.2]$ et $[-0.1]$ pour l'échantillon KI, et la classe $[-0.1]$ pour l'échantillon KII.
- 3- Pour les débits, on remarque qu'il y a augmentation du temps de passage, lorsque les grosseurs des grains diminuent; les débits sont donc faibles pour les fractions présentant des grains fins.

CHAPITRE III

FLOTTATION

III-1- Introduction:

La flottation consiste en une séparation des particules sur la base de leurs propriétés physico-chimiques de surface. La séparation s'appuie sur le caractère hydrophobe le plus souvent artificiellement conféré à une famille de particules par l'adsorption en surface de molécules hydrophobes.

Les concentrés de feldspath utilisé dans l'industrie du verre et de la céramique doivent être exempts de minéraux tels que: Le grenat, le mica, la tourmaline, l'ilménite et les oxydes de fer. On peut aisément éliminer ceux-ci en les flottant, soit avec un collecteur de la série 800, soit avec un collecteur cationique tel que l'aéromine 3037.

III-2- Conditions opératoires:

Pour une meilleure flottation, on deschlamme d'abord l'échantillon à [25 μ m]. Le deschlammage se pratique par tamisage par voie humide avec un tamis de 25 μ m d'ouverture. La fraction est alors de [200 à 25 μ m]. Cette fraction a été déferrisée pour éliminer une partie des contaminations ferrifères et du mica (cas des échantillons d'Abouda Bouada) ; puis, on place ensuite l'échantillon dans la cellule de flottation et on conditionne avec les réactifs destinés à cet effet.

La flottation suivie dans notre projet est la flottation inverse du feldspath, c'est une flottation sélective.

Les paramètres opératoires utilisés sont:

- Le conditionnement de la pulpe (durée, et réglage du PH avec de l'acide sulfurique H₂SO₄ et l'acide fluorhydrique HF) ;
- Les réactifs améliorant la sélectivité de la séparation : activants, déprimants (Dodecylamine);
- Le réactif spécifique au solide à récupérer par flottation: collecteur (AP801 et AP 840);
- Le réactif structurant de la mousse (Huile de pin);

Les essais de flottation sont réalisés dans le laboratoire de valorisation de l'O.R.G.M, la cellule est de type « DENVER ». Elle possède une structure géométrique parallélépipédique, dans laquelle apparaissent les dispositifs suivants :

- Un agitateur ;
- Un dispositif permettant l'injection de l'air ;
- Une raclette (raclette manuelle) ;
- Un bac pour la récupération de la mousse;

III-3- Consommation des réactifs:

Les consommations en réactifs utilisés lors des essais sont, (Tab.III.3.1):

Echantillon		Réactifs utilisés						
		H ₂ SO ₄ (ml)	Dodecylamine C ₁₂ H ₂₅ NH ₂ +HOH (ml)	AP 801 (ml)	AP 840 (ml)	Huile de pin (gouttes)	Kérosène (ml)	HF (ml)
Ain Barbar	Ech1	4.7	1	12.5	12.5	-	0.05	1.5
	Ech2	4.4	2.5	12.5	12.5	-	0.05	0.7
	Ech3	6	5	12.5	12.5	-	0.05	1.4
Abouda	Ech1	5	2	12.5	12.5	5	0.05	1.5
Bouada	Ech2	5.2	5	12.5	12.5	5	0.05	1.25
KI	Ech3	5.1	10	12.5	12.5	5	0.05	1.1
Abouda	Ech1	6.9	2	12.5	12.5	5	0.05	1.0
Bouada	Ech2	6.7	5	12.5	12.5	5	0.05	1.3
KII	Ech3	6.3	10	12.5	12.5	5	0.05	1.6

Tab.III.3.1. tableau résume les quantités des réactifs utilisés dans la flottation

La consommation en réactifs dans chaque étape de flottation est précisée dans les schémas ci-après :

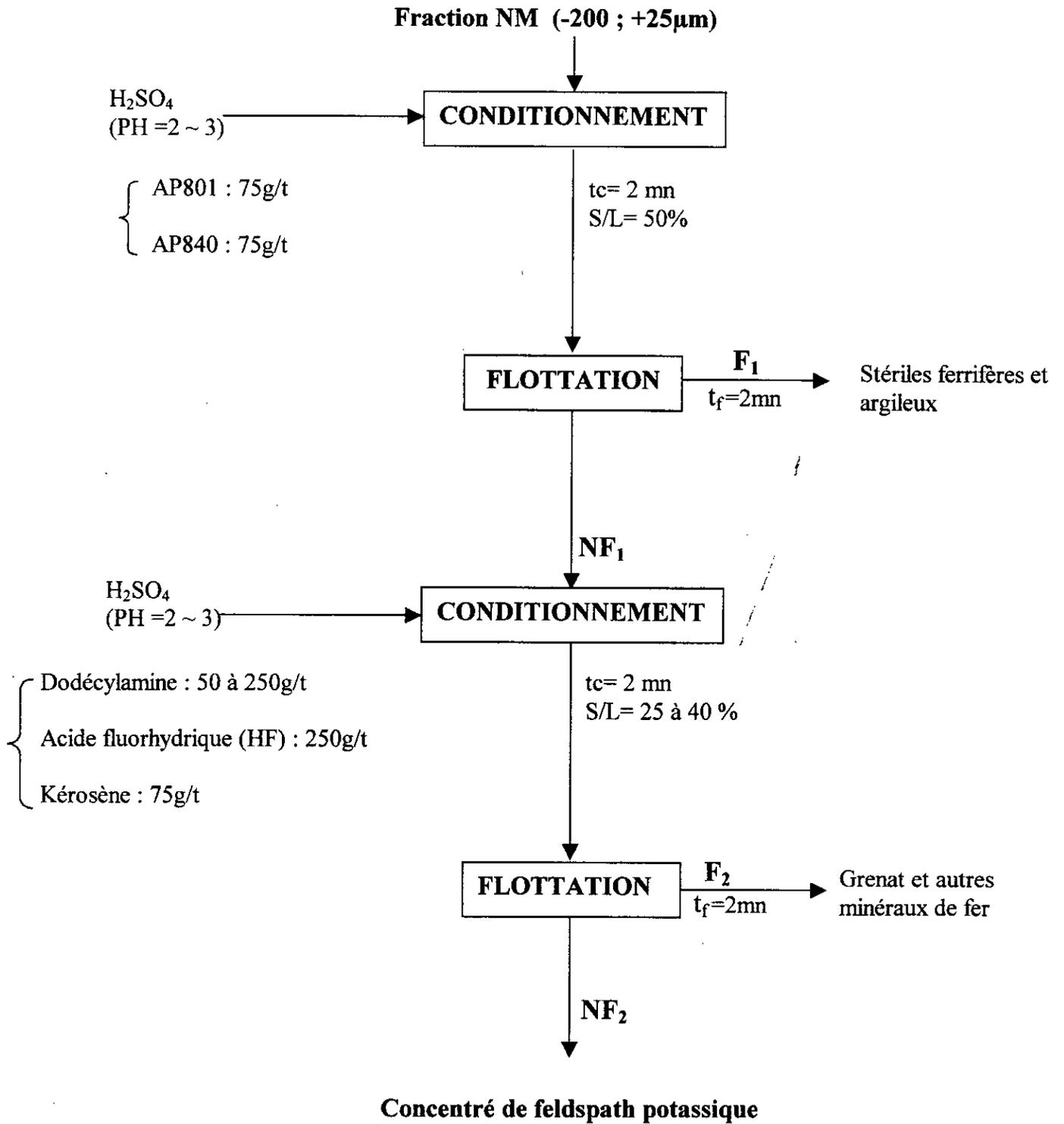


Schéma . 1 . Schéma de flottation inverse du feldspath d'Ain Barbar

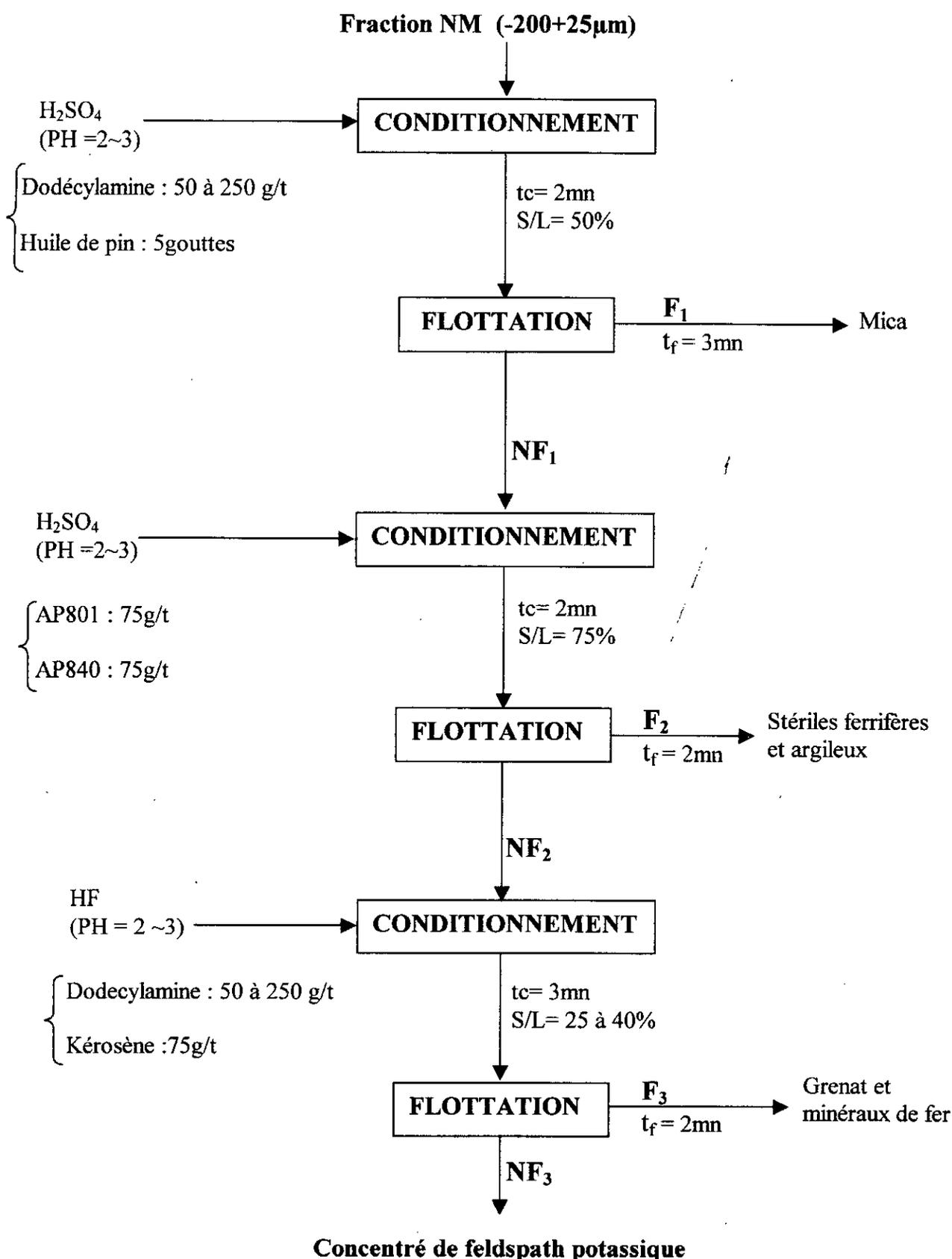


Schéma . 2 . Schéma de flottation inverse du feldspath d'Abouda-Bouada

III-4- Résultats des essais de flottation:

Après flottation, nous avons filtré et lavé les concentrés et les rejets, puis nous avons séché les échantillons (concentrés et rejets) dans une étuve. Après séchage, nous avons pesé chaque quantité à part. Les bilans de cette opération sont indiqués dans les tableaux suivants :

a) - Gisement de Ain Barbar:

Échantillon N°	Poids initial (g)	Concentré de flottation		Rejets de flottation (Stériles ferrifères et argileux)	
		Poids (g)	%	Poids (g)	%
Ech n°1	500	472.27	94.45	11.4	2.28
Ech n°2	500	476.36	95.27	15.8	3.16
Ech n°3	500	471.52	94.30	17.8	3.56

Tab.III.4.1. Résultats des essais de flottation des échantillons d'Ain-Barbar

b) - Gisement de Kabylie I:

Échantillon N°	Poids initial (g)	Concentré de flottation		Rejets de flottation			
				Stériles ferrifères et argileux		Mica	
		Poids (g)	%	Poids (g)	%	Poids (g)	%
Ech n°1	500	398.10	77.82	16	3.2	71.8	14.36
Ech n°2	500	395.10	79.02	21.6	4.32	78.1	15.62
Ech n°3	500	343.77	68.75	7.2	1.44	94.4	18.88

Tab.III.4.2. Résultats des essais de flottation des échantillons d'Abouda-Bouada (KI)

c) - Gisement de Kabylie II:

Échantillon N°	Poids initial (g)	Concentré de flottation		Rejets de flottation			
				Stériles ferrifères et argileux		Mica	
		Poids (g)	%	Poids (g)	%	Poids (g)	%
Ech n°1	500	443.46	88.70	55.35	11.07	33.3	6.66
Ech n°2	500	419.60	83.92	17.15	3.43	50.4	10.08
Ech n°3	500	371.30	74.26	69.5	13.9	50.7	10.14

Tab.III.4.3. Résultats des essais de flottation des échantillons d'Abouda-Bouada (KII)

III-5- Résultats des analyses chimiques des concentrés de flottation :

a)- Gisement de Ain Barbar:

Échantillon N°	Concentré de Flottation			
	Poids (g)	%	Teneur en Fe ₂ O ₃ initial (%)	Teneur en Fe ₂ O ₃ du concentré (%)
Ech n°1	472.27	94.45	0.54	0.31
Ech n°2	476.36	95.27	0.54	0.36
Ech n°3	471.52	94.30	0.54	0.24

Tab.III.5.1. Résultats des analyses chimiques des concentrés de flottation (Ain-Barbar)

b)- Gisement de Kabylie I:

Échantillon N°	Concentré de flottation			
	Poids (g)	%	Teneur en Fe ₂ O ₃ initial (%)	Teneur en Fe ₂ O ₃ du concentré (%)
Ech n°1	398.10	77.82	1.23	0.23
Ech n°2	395.10	79.02	1.23	0.36
Ech n°3	343.77	68.75	1.23	0.17

Tab.III.5.2. Résultats des analyses chimiques des concentrés de flottation

(Abouda-Bouada [KI])

c)- Gisement de Kabylie II:

Échantillon N°	Concentré de flottation			
	Poids (g)	%	Teneur en Fe ₂ O ₃ initial (%)	Teneur en Fe ₂ O ₃ du concentré (%)
Ech n°1	443.46	88.70	1.26	0.40
Ech n°2	419.60	83.92	1.26	0.29
Ech n°3	371.30	74.26	1.26	0.14

Tab.III.5.2. Résultats des analyses chimiques des concentrés de flottation

(Abouda-Bouada [KII])

Conclusion:

Les résultats des essais de flottation et les analyses chimiques des concentrés de flottation montrent que :

- 1- L'élimination des impuretés ferrifères est plus ou moins faible, mais on remarquera que pour les échantillons de KII le pourcentage est assez élevé par rapport aux autres.
- 2- La quantité de micas éliminés dans les échantillons d'Abouda Bouada est faible.

Cependant, en se référant aux analyses chimiques, on constate que la teneur en oxyde de fer dans les concentrés diminue de façon remarquable, signifiant ainsi que la flottation présente un aspect positif.

CHAPITRE IV

LIXIVIATION

IV-1- Introduction:

La lixiviation consiste à solubiliser un ou plusieurs composants d'un minerai par le biais de réactifs spéciaux, portant le nom de solvants. Elle permet à un degré appréciable d'extraire les impuretés minérales, ce qui explique que son étude et la mise au point de son régime optimal puissent faire l'objet d'attention durant le traitement d'un procédé hydrométallurgique.

Dans l'industrie, on utilise un assortiment très large de solvants. L'objectif recherché consiste au fait que la dissolution puisse être sélective, ce qui signifie que le métal ou bien le composé à dissoudre pourra être solubilisé complètement dans le cas idéal.

La lixiviation des feldspaths se pratique selon plusieurs procédés, où chacun nécessite des réactifs et des conditions spéciales. Dans notre étude, nous avons opté pour deux types de lixiviation :

- L'une basée sur l'addition de L'Hydrosulfite de soude ou dithionite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), à température ambiante du milieu ;
- L'autre basée sur l'attaque des oxydes de fer par le bifluorure d'ammonium, dans un milieu chauffé.

IV-2- Lixiviation par addition de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, à température ambiante :

Cette technique est basée sur l'attaque des impuretés ferrifères par addition de dithionite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) et d'acide sulfurique à une température normale (température ambiante). Au terme de l'agitation, il faut que la pulpe soit agitée fortement pour assurer le contact total entre les grains et les solvants.

IV-2-1- Conditions opératoires:

Cette opération a été réalisée à l'aide d'une jarre en porcelaine, car l'agitateur existant au laboratoire de valorisation de l'O.R.G.M ne pouvait supporter la masse de minerai à traiter dans le cadre de la tranche granulométrique choisie à cet effet.

Dans la procédure opératoire de l'essai de lixiviation, il faut donc mélanger :

- 200g du minerai ;

- 0.2g de la dithionite (1kg/t);
- L'addition de l'acide sulfurique est variable pour maintenir le PH à 2.2.

La durée de rétention des tests de lixiviation avec agitation est variable : 15, 20 et 40 minutes ; Le contrôle du PH a été effectué toutes les 5 minutes et le réglage du PH fut mené par addition d' H_2SO_4 en petites quantités.

IV-2-2- Consommation en réactifs et temps d'agitation:

La consommation en réactifs de la lixiviation varie d'un essai à un autre. Dans les essais que l'on a effectués, ces consommations sont représentées dans le tableau suivant (Tab.IV.1):

Gisement	N° d'échantillon	Temps de lixiviation (mn)	Addition d' H_2SO_4 (ml)	Addition de $Na_2S_2O_4$ (g)
Ain Barbar	Ech 1	40	2.2	0.2
	Ech 2	20	2.0	0.2
	Ech 3	15	1.6	0.2
Abouda bouada (KI)	Ech 1	40	1.3	0.2
	Ech 2	20	1.1	0.2
	Ech 3	15	1.0	0.2
Abouda bouada (KII)	Ech 1	40	1.3	0.2
	Ech 2	20	1.0	0.2
	Ech 3	15	0.9	0.2

Tab.IV.1. Réactifs utilisés dans la lixiviation et temps d'agitation

IV-2-3- Résultats des essais de lixiviation:

Les concentrés sont filtrés, lavés, puis séchés dans une étuve, afin d'être analysés chimiquement.

Les poids et les pourcentages des concentrés sont annotés dans les tableaux ci-après :

a)- Gisement d'Ain-Barbar:

Échantillon N°	Poids initial (g)	Concentré de lixiviation	
		Poids (g)	%
Ech n°1	200	198.4	99.2
Ech n°2	200	198.53	99.27
Ech n°3	200	198.83	99.42

Tab.IV.2. Résultats de la lixiviation de l'échantillon d'Ain Barbar

b)- Gisement de Kabylie I:

Échantillon N°	Poids initial (g)	Concentré de lixiviation	
		Poids (g)	%
Ech n°1	200	198.3	99.15
Ech n°2	200	198.25	99.13
Ech n°3	200	198.1	99.05

Tab.IV.3. Résultats de la lixiviation de l'échantillon d'Abouda Bouada (KI)

c)- Gisement de Kabylie II:

Échantillon N°	Poids initial (g)	Concentré de lixiviation	
		Poids (g)	%
Ech n°1	200	198.5	99.25
Ech n°2	200	198.9	99.45
Ech n°3	200	199.22	99.61

Tab.IV.4. Résultats de la lixiviation de l'échantillon d'Aouda Bouada (KII)

IV-2-4- Résultats des analyses chimiques des concentrés:

a)- Gisement d'Ain-Barbar:

Échantillon N°	Concentré de lixiviation				
	Poids (g)	%	Teneur en Fe ₂ O ₃ initial (%)	Teneur en Fe ₂ O ₃ dans concentré (%)	Taux de récupération en Fe ₂ O ₃ dans le concentré (%)
Ech n°1	198.4	99.2	0.57	0.51	89.47
Ech n°2	198.53	99.27	0.57	0.47	82.46
Ech n°3	198.83	99.42	0.57	0.47	82.46

Tab.IV.5. Résultats des analyses chimiques de l'échantillon d'Ain-Barbar

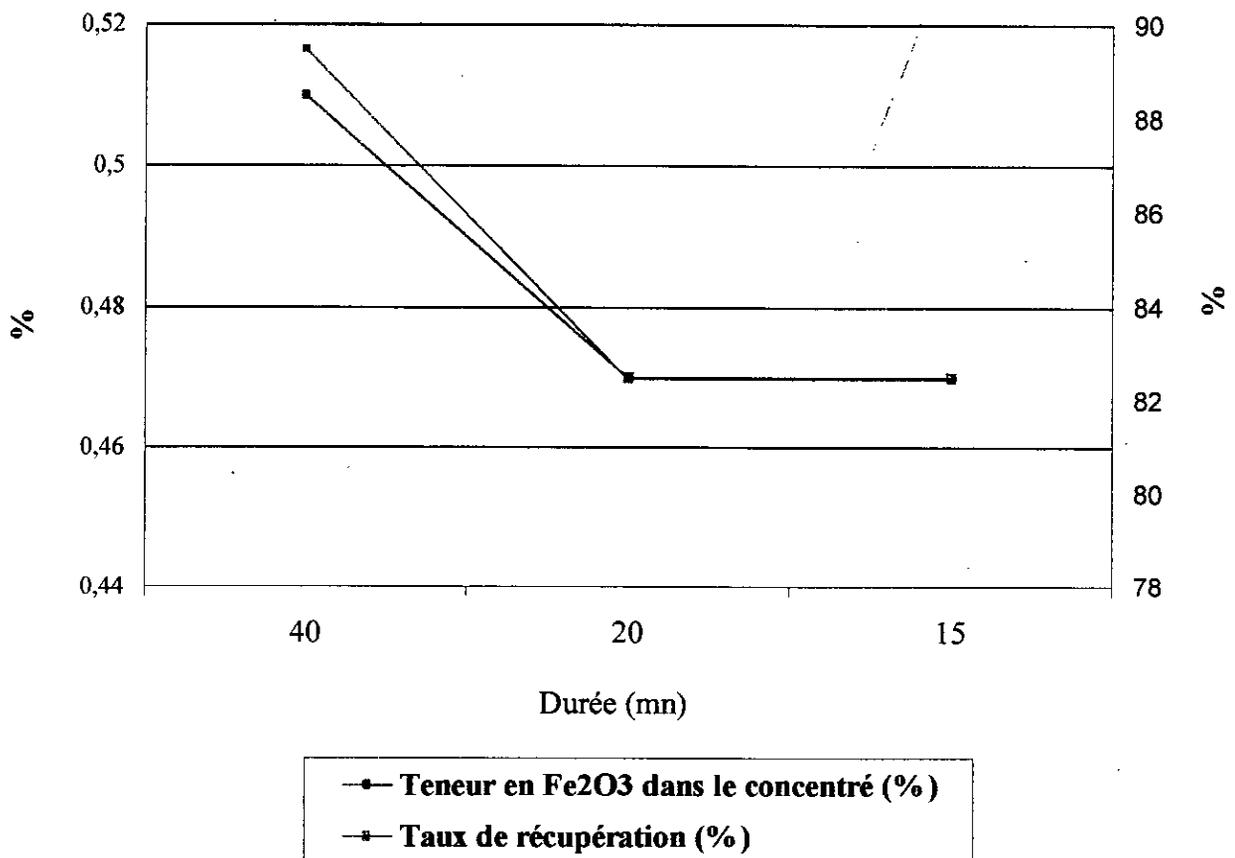


Fig.IV.5. Courbes représentatives des teneurs en Fe₂O₃ et le taux de récupération (gisement d'Ain Barbar)

b)- Gisement de Kabylie I:

Échantillon N°	Concentré de lixiviation				
	Poids (g)	%	Teneur en Fe ₂ O ₃ initial (%)	Teneur en Fe ₂ O ₃ dans concentré (%)	Taux de récupération en Fe ₂ O ₃ dans le concentré (%)
Ech n°1	198.3	99.15	0.89	0.76	85.40
Ech n°2	198.25	99.13	0.89	0.76	85.40
Ech n°3	198.1	99.05	0.89	0.83	93.26

Tab.IV.6. Résultats des analyses chimiques de l'échantillon d'Abouda Bouada (KI)

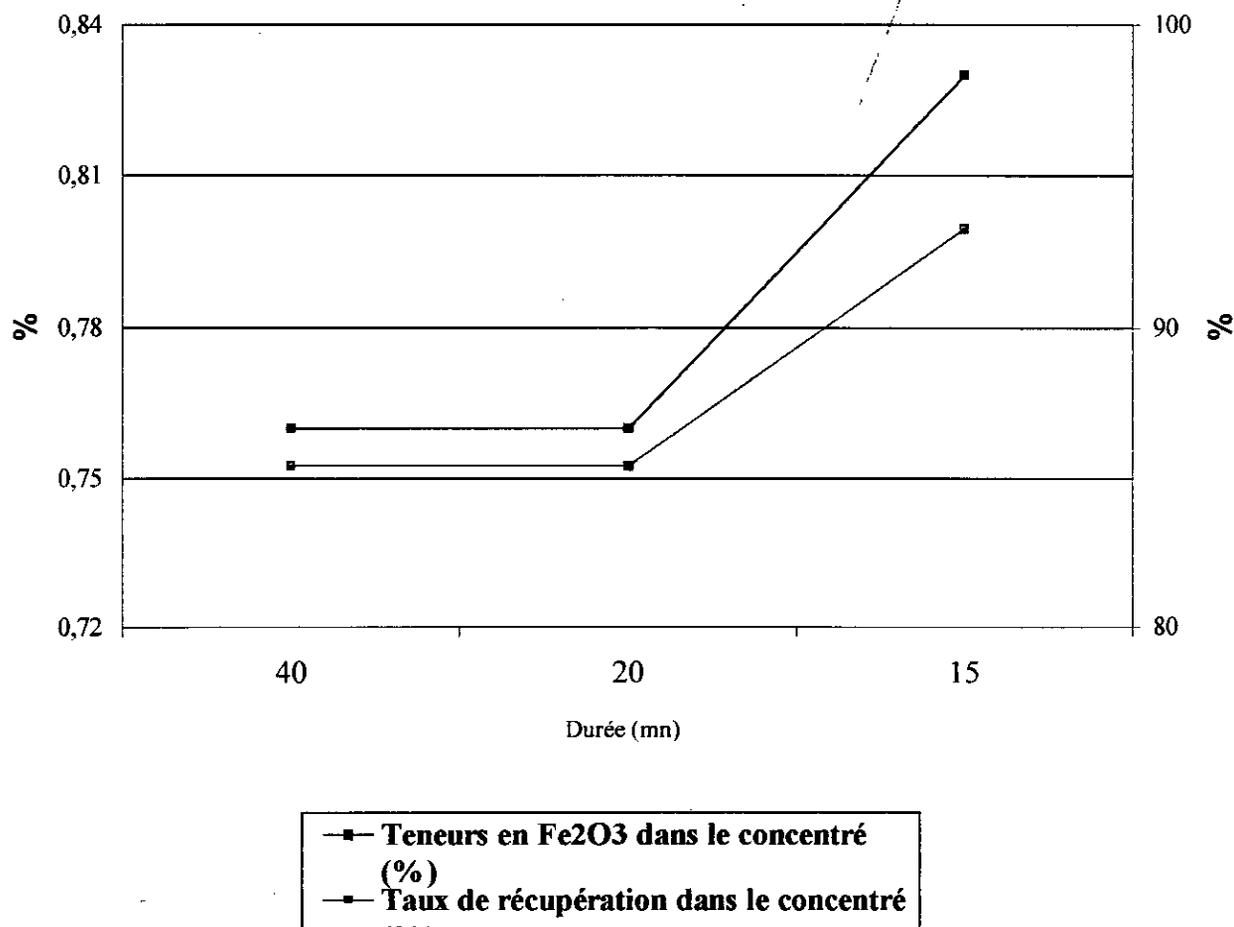


Fig.IV.6. Courbes représentatives des teneurs en Fe₂O₃ et le taux de récupération (gisement d'Abouda Bouada [KI])

c) - Gisement de Kabylie II:

Échantillon N°	Concentré de lixiviation				
	Poids (g)	%	Teneur en Fe ₂ O ₃ initial (%)	Teneur en Fe ₂ O ₃ dans concentré (%)	Taux de récupération en Fe ₂ O ₃ dans le concentré (%)
Ech n°1	198.5	99.25	0.74	0.51	68.92
Ech n°2	198.9	99.45	0.74	0.43	58.11
Ech n°3	199.22	99.61	0.74	0.43	58.11

Tab.IV.7. Résultats des analyses chimiques de l'échantillon d'Abouda Bouada (KII)

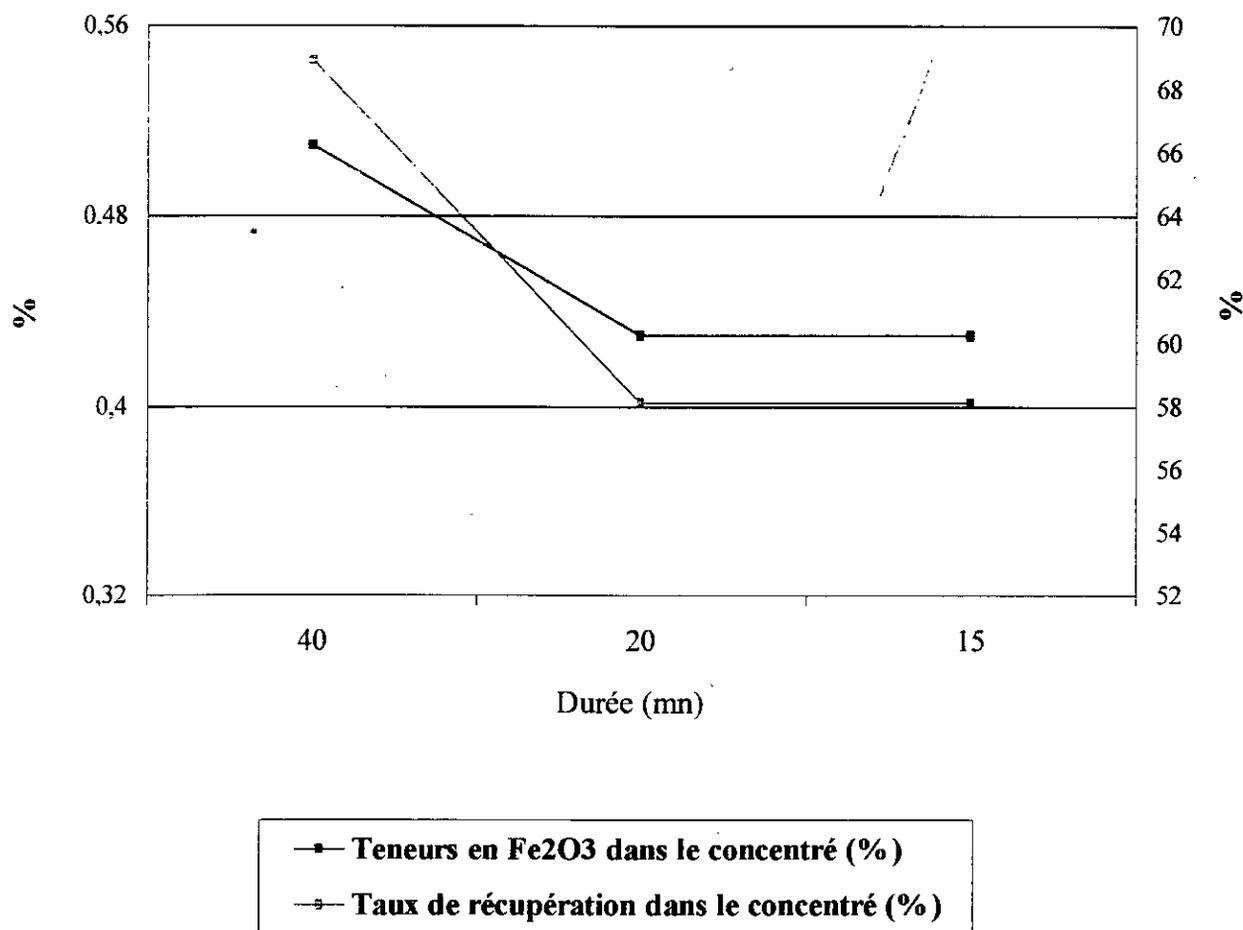


Fig.IV.7. Courbes représentatives des teneurs en Fe₂O₃ et le taux de récupération (gisement d'Abouda Bouada [KII])

Le graphe ci-dessous regroupe l'ensemble des résultats des analyses chimiques concernant la teneur en Fe_2O_3 dans le concentré des trois échantillons, (Fig.IV.8).

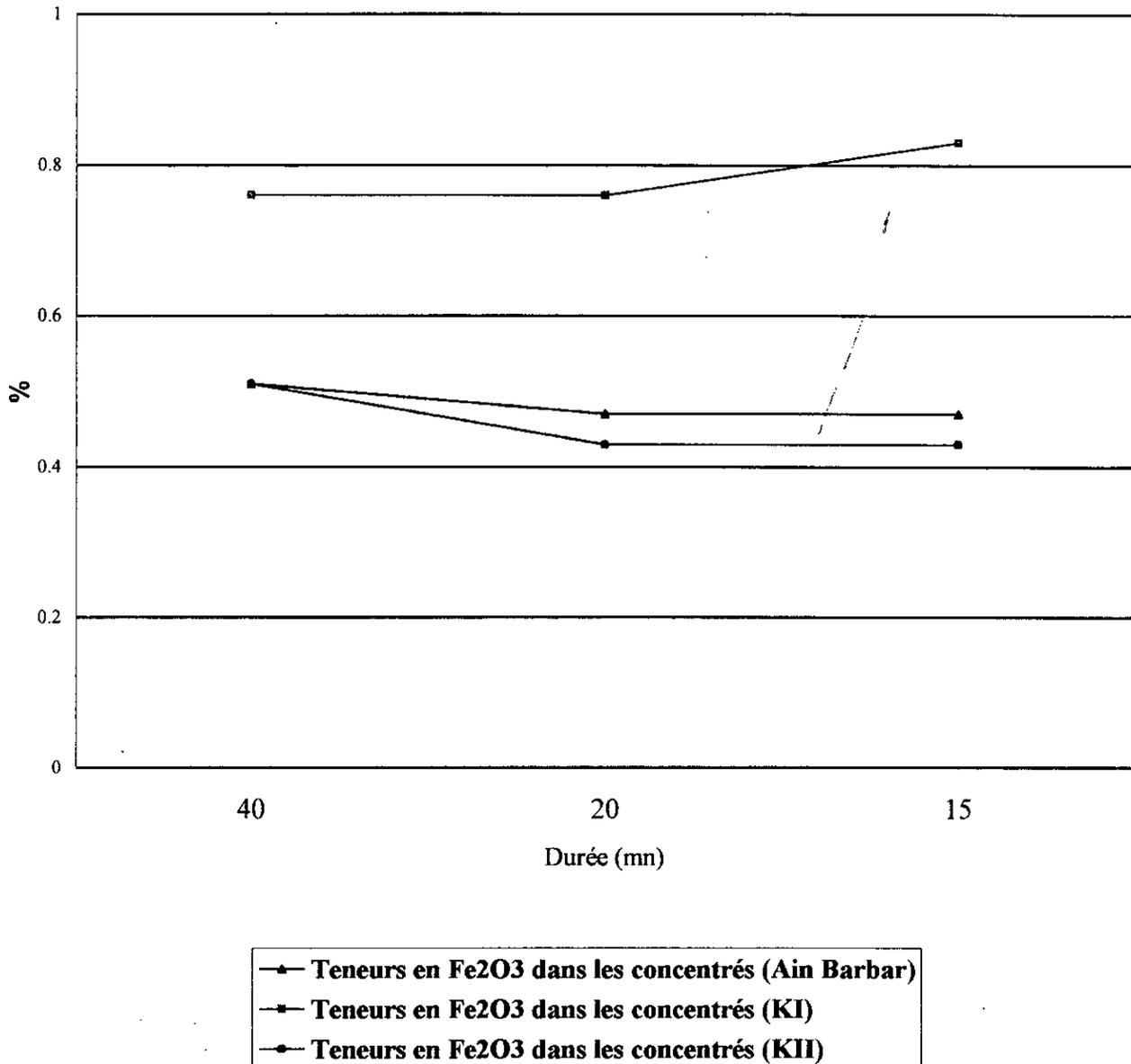


Fig.IV.8. Présentation des teneurs en Fe_2O_3 des concentrés des trois échantillons étudiés

3- Lixiviation par attaque nitrique:

Faute d'appareillage adéquat, on a procédé à deux tests seulement. Les échantillons testés sont les suivants :

- Echantillon d'Ain-Barbar, defferisé, de granulométrie [-0.8 ; +0.1 mm], de quantité 100g ;
- Echantillon d'Ain-Barbar, de granulométrie [-0.2 ; +0.025mm], il s'agit du concentré de flottation de l'échantillon N°3, prise 100g.

IV-3-1- Composition du mélange réactionnel :

Cette lixiviation a fait appel aux composants suivants:

- 100g de minerai de feldspath ;
- 50ml d'acide nitrique HNO₃ (titrage de 66.5%) ;
- 1.7g de bifluorure d'ammonium (NH₄F, HF) ;
- 20ml d'eau distillée.

La durée d'attaque (agitation) est 2heures ; La température du milieu est 88°C.

Après la lixiviation, on a filtré et séché le concentré. Les résultats obtenus durant ces opérations sont reportés dans les tableaux suivants :

Échantillon N°	Poids initial (g)	Concentré de lixiviation	
		Poids (g)	%
Ech n°1 (-0.8; +0.1)	100	98.1	98.1
Ech n°2 (-0.2; +0.025)	100	96.4	96.4

Tab.IV.8. Résultats de la lixiviation par attaque nitrique

L'analyse chimique des concentrés est présentée dans le tableau ci-après :

Échantillon N°	Concentré de lixiviation			
	% en poids	Teneur en Fe ₂ O ₃ initial (%)	Teneur en Fe ₂ O ₃ du concentré (%)	Taux de récupération en Fe ₂ O ₃ (%)
Ech n°1(-0.8; +0.1)	98.1	0.57	0.41	71.23
Ech n°2 (-0.2;+0.025)	96.4	0.24	0.068	28.33

Tab.IV.9. Résultats des analyses chimique des concentrés

Les résultats des essais de lixiviation réalisés, et la consommation des réactifs sont résumés dans le tableau suivant, (Tab.IV.10):

Gisement	Essai N°	Granulométrie mm	Température du milieu °C	Durée de lixiviation mn	Concentration en solvant (g)		Récupération en Fe ₂ O ₃ %	Teneur dans le concentré en Fe ₂ O ₃ %	Produit de tête calculé en Fe ₂ O ₃ %	Teneur en Fe ₂ O ₃ dans le Tout-venant %
					Na ₂ S ₂ O ₄	NH ₄ F, HF				
Ain-Barbar	Ech1	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	40	0.2	-	7.10	0.51	0.549	0.57
	Ech2	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	20	0.2	-	15.47	0.47	0.556	0.57
	Ech3	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	15	0.2	-	16.22	0.47	0.561	0.57
Abouda- Bouada (KI)	Ech1	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	40	0.2	-	12.64	0.76	0.87	0.89
	Ech2	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	20	0.2	-	13.04	0.76	0.874	0.89
	Ech3	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	15	0.2	-	5.34	0.83	0.877	0.89
Abouda- Bouada (KII)	Ech1	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	40	0.2	-	29.46	0.51	0.723	0.74
	Ech2	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	20	0.2	-	41.34	0.43	0.733	0.74
	Ech3	-0.8; +0.1	20 – 25 °C	15	0.2	-	40.93	0.43	0.728	0.74
Ain-Barbar (attaque nitrique)	Ech1	-0.8; +0.1	88 °C	2heures	-	1.7	27.05	0.41	0.562	0.57
	Ech2	-0.2; +0.025	88 °C	2heures	-	1.7	71.19	0.068	0.236	0.24

Tab.IV.10. Résumé des résultats des essais de lixiviation réalisés et consommation des réactifs

Conclusion :

L'épuration par les deux types de lixiviation utilisés ne donne pas des résultats acceptables par rapport aux essais de flottation ; l'utilisation d'appareils qui ne sont pas destinés à cet effet est une des raisons majeurs.

On peut remarquer aussi que la lixiviation par attaque nitrique est mieux adaptée que celle par addition de la dithionite, ce qui veut dire que le bifluorure d'ammonium solubilise mieux l'oxyde de fer que la dithionite.

Le concentré de lixiviation par attaque nitrique donne de très bons résultats, lorsque le tout-venant est le concentré de flottation ; donc, pour obtenir de meilleurs résultats, il faut traiter le minerai par le procédé de flottation combinée à une lixiviation par attaque nitrique.

En ce qui concerne le temps de lixiviation, nous voyons, d'après les données reportées dans les tableaux (Tab.IV.5, 6, 7), et les graphes (Fig.IV.5, 6, 7), que la durée de 15 minutes pour le gisement d'Ain-Barbar, et la durée de 20 minutes pour le gisement d'Abouda-Bouada (KI et KII), fournissent les meilleurs résultats de la lixiviation.

Les travaux que nous avons réalisés sont présentés sous forme de fluxogrammes et flow-sheets ci-dessous, (**schémas.1, 2, 3, 4**) :

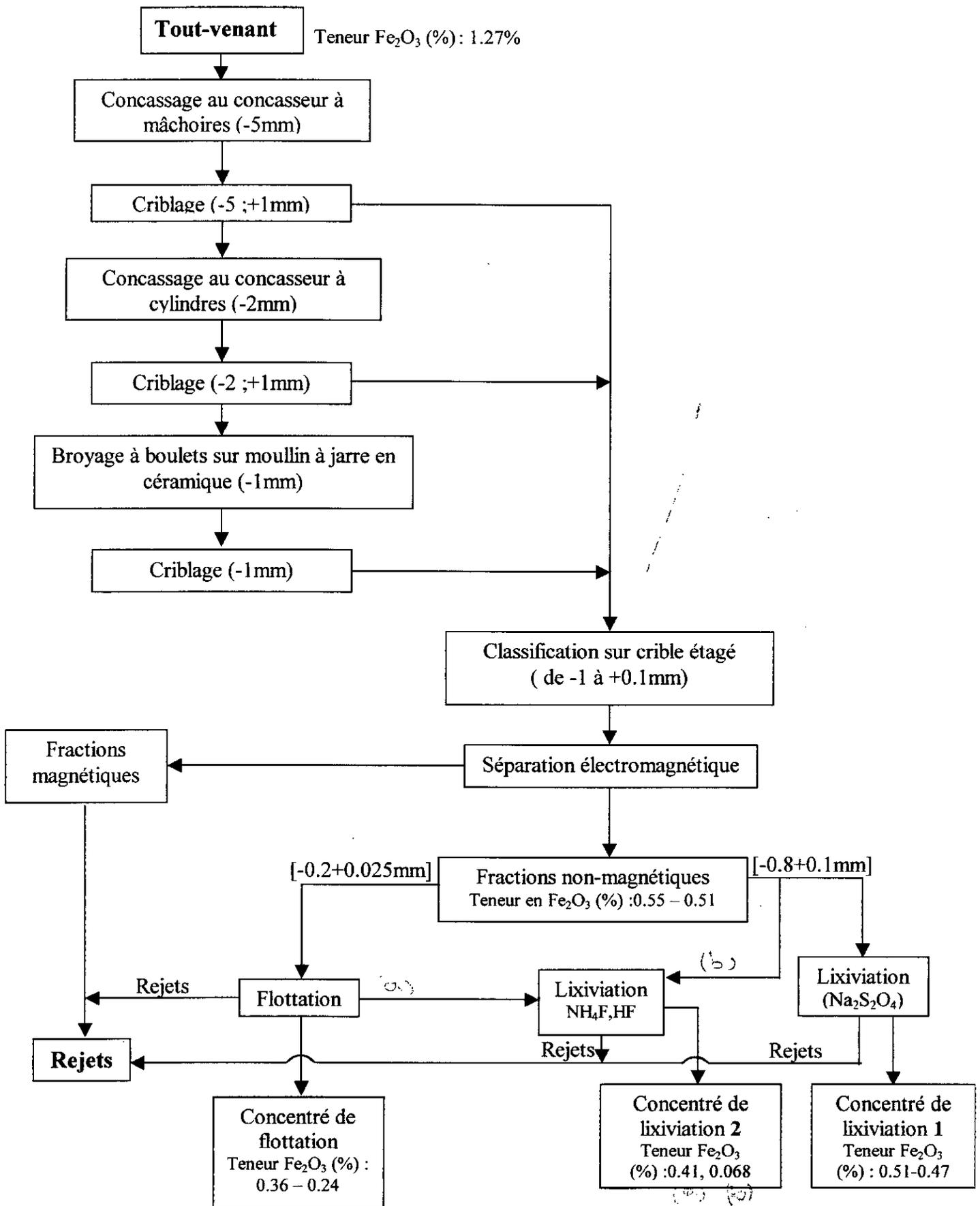


Schéma.1. Fluxogramme simplifié de traitement du feldspath potassique du gisement d'Ain-Barbar

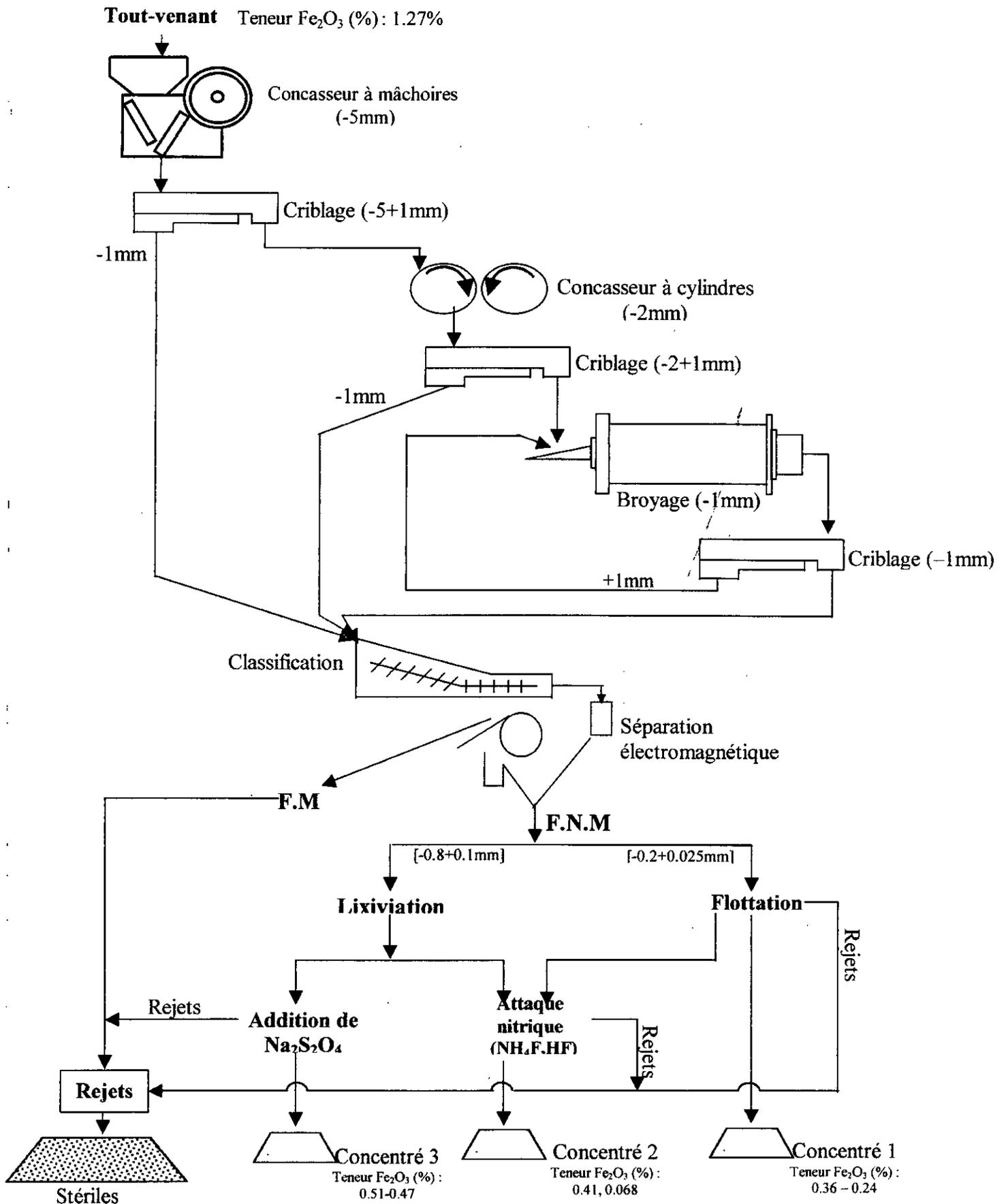


Schéma.2. Flow-sheet simplifié du traitement de feldspath potassique du gisement d'Ain-Barbar

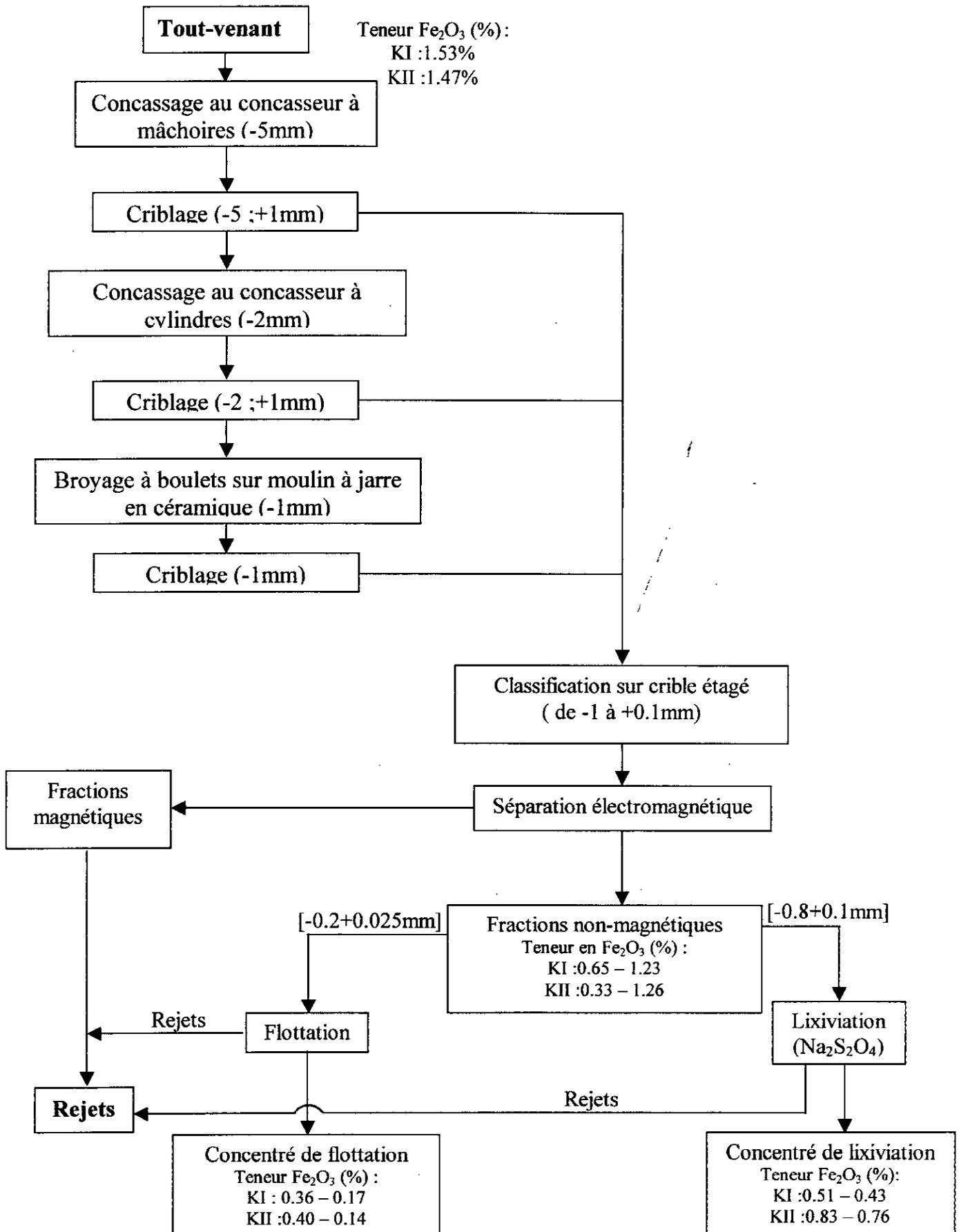


Schéma.3. Proposition de fluxogramme de traitement du feldspath potassique du gisement d'Abouda-Bouada

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Vu l'importance de l'utilisation du feldspath potassique dans l'industrie du verre et de la céramique, et comme ce minerai est accompagné généralement par des impuretés nocives telles que l'oxyde de fer et le mica, il est donc primordial de procéder à leur élimination, afin d'obtenir un produit répondant aux normes industrielles.

Notre étude avait pour objectif l'obtention d'un produit acceptable dans le domaine industriel, répondant aux normes internationales.

En se référant aux tableaux (Tab.II.5.1, 2, 3 ; Tab.III.5.1, 2, 3 ; Tab.IV.5, 6, 7, 9) concernant les résultats des différents tests réalisés, il ressort que pour le minerai du gisement d'Ain-Barbar, titrant 1.27% de Fe_2O_3 , les essais d'orientation ont permis de retenir que:

1. La faible élimination de l'oxyde de fer par le procédé de séparation électromagnétique (15 à 35%) ;
2. Le procédé de flottation, traitant le concentré obtenu par séparation magnétique, titrant 0.54% de Fe_2O_3 , a permis d'éliminer 55% de Fe_2O_3 (max).
3. Le bifluorure d'ammonium (NH_4F , HF) utilisé dans le procédé de lixiviation (utilisation des solvants...), a permis de mieux solubiliser l'oxyde de fer.

Les résultats des essais ont permis d'éliminer 18% de Fe_2O_3 (max) pour la lixiviation par addition de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, et 72% de Fe_2O_3 (max) pour la lixiviation par attaque nitrique.

En conclusion, en comparant tous ces résultats, il ressort que la combinaison des trois procédés (séparation électromagnétique, flottation, lixiviation par attaque nitrique) a permis d'éliminer 88% de Fe_2O_3 .

Cette combinaison donne des résultats favorables, car elle répond aux normes industrielles.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Pour le gisement d'Abouda-bouada, il ressort que pour les deux échantillons titrant 1.53% de Fe_2O_3 pour KI, et 1.47% de Fe_2O_3 pour KII, les essais d'orientation ont permis de retenir :

1. Le procédé de séparation électromagnétique éliminant 22% à 42% de Fe_2O_3 pour KI, et 7% à 68% de Fe_2O_3 pour KII ;
2. Le procédé de flottation, traitant le concentré obtenu par séparation magnétique, titrant 1.23% de Fe_2O_3 pour KI, et 1.26% Fe_2O_3 pour KII, a permis d'éliminer 86% de Fe_2O_3 (max) pour KI, et 89% de Fe_2O_3 (max) pour KII.
3. Les essais de lixiviation par addition de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ont permis d'éliminer 15% de Fe_2O_3 (max) pour l'échantillon KI, et 42% de Fe_2O_3 (max) pour l'échantillon KII.

En conclusion, par comparaison de ces résultats, nous pouvons dire que l'élimination de l'oxyde de fer par séparation magnétique, suivi d'une flottation pour les échantillons est préférable.

Compte tenu des résultats obtenus de ces tests d'orientation, nous pouvons proposer un schéma technologique de l'usine de traitement pour chaque gisement (voir flow-sheets suivants).

CONCLUSION GÉNÉRALE

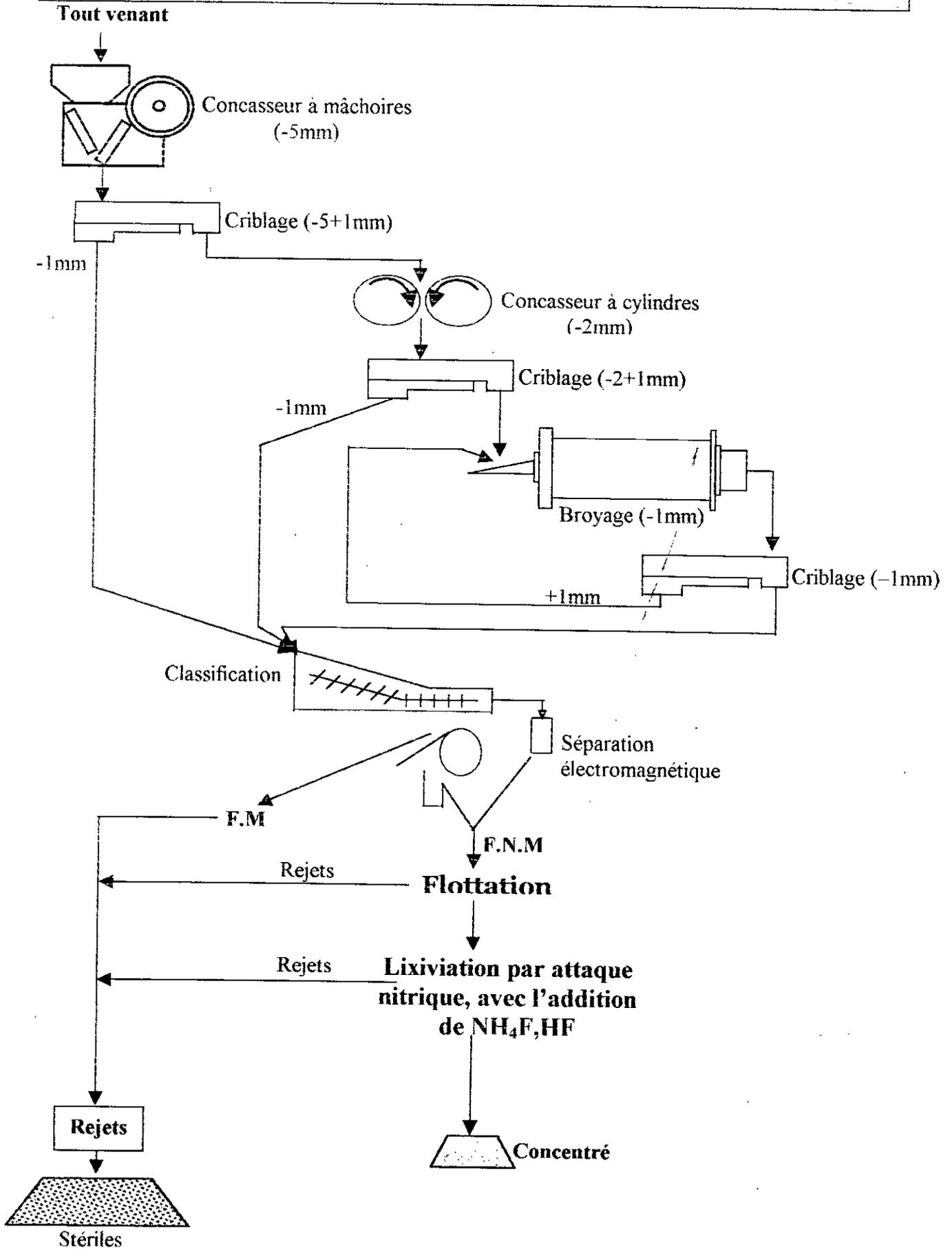


Schéma.1. Proposition de flow-sheet de l'usine de traitement de feldspath potassique du gisement d'Ain-Barbar

Conclusion Générale

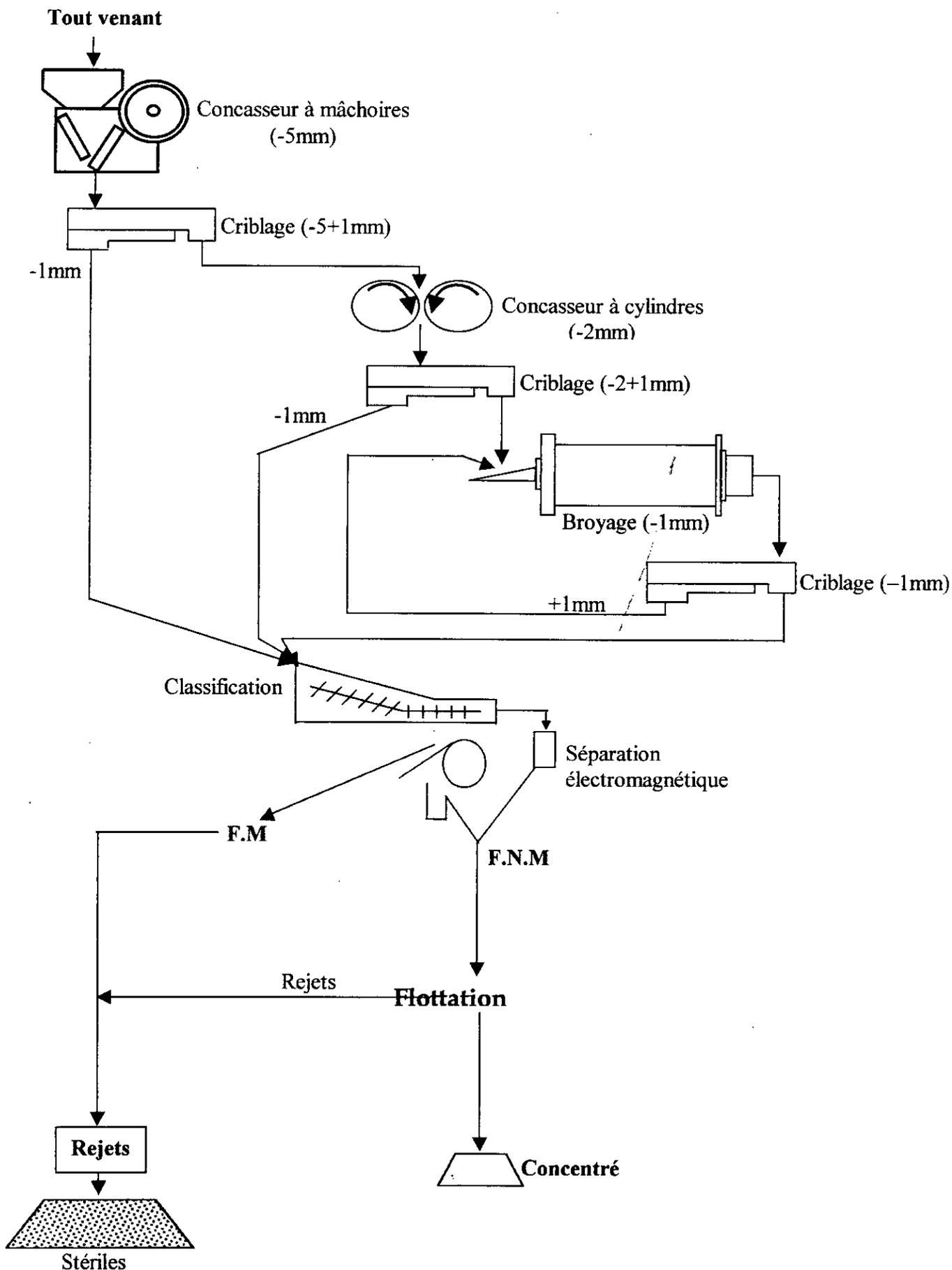


Schéma.2. Proposition de flow-sheet de l'usine de traitement de feldspath potassique du gisement d'Abouda-Bouada

Conclusion Générale

Comme recommandations à apporter à ce travail, il serait nécessaire de :

- Procéder à des tests de flottation en choisissant des réactifs plus adéquats;
- Procéder à des tests de lixiviation en utilisant des appareils plus adaptés (réacteurs et autres), et à mieux optimiser les paramètres investigués.

ANNEXE

ANNEXE 1

Caractéristiques physiques et physico-mécaniques du minéral

1. La masse volumique :

La masse volumique d'un matériau est la quantité de ce matériau contenue dans un volume égal à l'unité.

La masse volumique d'un matériau dépend de facteurs tels que son degré de compaction et sa teneur en eau.

Il est facile de calculer ce paramètre avec de simples appareils :

- Balance ;
- Pelle ;
- Deux récipients, dont le premier est rempli d'eau, munie d'une ouverture en haut pour laisser évacuer le sur charge ; le deuxième peut être un bûcher ;
- Une éprouvette graduée.

Mode opératoire :

Le récipient 1 doit être rempli trop plein, et le 2 est placé sous le trop plein. Un échantillon est versé doucement dans le récipient 1, et le volume d'eau déplacé est préservé dans le 2^e récipient.

La masse volumique est calculée avec la formule suivante :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Où :

M : masse de l'échantillon.

V : volume déplacé par l'échantillon.

2. Calcul du taux d'humidité :

Les matériaux naturels contiennent presque toujours de l'eau, dont la connaissance de la quantité de l'eau ainsi emprisonnée est très importante.

Pour le calcul de la teneur d'eau d'un matériau, on mesure la perte de masse lors de son séchage à l'étuve, et on divise cette valeur par la masse sèche du matériau.

Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$T(\%) = \frac{\Delta M}{M_1} * 100$$

Où :

ΔM : variation de la masse.

M_1 : masse sèche de l'échantillon.

ANNEXE I

Les appareils utilisés à cet effet :

- Une balance ;
- Une étuve ;
- Récipients métalliques.
- Une spatule pour remuer la prise d'essai durant la période de séchage.

Mode opératoire :

1. Peser l'échantillon à 0.1% près.
2. Sécher à fond l'échantillon dans son récipient dans l'étuve en remuant jusqu'à masse constante, en prenant bien soin d'éviter la perte de la moindre particule.
3. Peser la prise d'essai sécher à 0.1% près, aussi tôt qu'elle est suffisamment refroidie afin de ne pas endommager la balance.

3. Calcul de la porosité :

Toutes les roches présentent certains proportion de fissures et des vides, qui renferment le plus souvent de l'eau. La porosité d'un matériau représente le pourcentage des vides dans l'unité du volume de ce même matériau.

La porosité est calculée par la formule suivante :

$$P = \frac{(M_1 - M_0) \cdot d}{M_0} * 100$$

Où:

M_0 : masse sèche.

M_1 : masse après trempage dans l'eau.

d: densité du matériau.

Les appareils utilisés sont:

- Une balance ;
- Un récipient métallique ;
- Etuve ;
- Bêcher ;
- Plaque chauffante ;

ANNEXE 1

1. Un chiffon ;
2. Agitateur (spatule).

Mode opératoire :

- Peser l'échantillon avec le moins de grains fin (<10gr de grains trop petits) ;
- Sécher l'échantillon dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'une masse constante, en remuant de temps en temps ;
- Peser la masse sèche (M_0).
- Placer l'échantillon sec dans un bêcher rempli d'eau froide et porter à ébullition pendant deux heures.
- Laisser refroidir, et peser la nouvelle masse (M_1) après avoir extrait la part d'eau et essuyer chaque grain avec un chiffon.

4. Calcul de la dureté :

La dureté est définie par la résistance d'un minéral à la rayure ou à l'abrasion. Une surface molle se raye plus facilement qu'une surface dure; ainsi, un minéral dur, tel que le diamant, peut rayer un minéral tendre tel que le graphite, et le minéral dur ne sera pas rayé par le minéral tendre.

La dureté relative des minéraux est déterminée selon l'échelle de dureté de Mohs :

Minerais	Dureté	Minerais	Dureté
Diamant	10	Apatite	5
Corindon	9	Fluorine	4
Topaze	8	Calcaire	3
Quartz	7	Gypse	2
Orthose	6	Talc	1

Tab.1. Echelle de Mohs

LES FELDSPATHS

La famille des feldspaths comprend les minéraux suivants:

Minéral	Année de dénomination	Formule	Système
Albite	1823	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	triclinique
Anorthite	1823	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	triclinique
Anorthoclase		$(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	triclinique
Banalsite	1944	$\text{BaNa}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$	orthorhombique
Buddingtonite	1964	$(\text{NH}_4)\text{AlSi}_3\text{O}_8$	monoclinique
Celsian	1895	$\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	monoclinique
Dmisteinbergite		$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	hexagonal
Hyalophane	1855	$(\text{K},\text{Ba})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8$	monoclinique
Lisetite		$\text{Na}_2\text{CaAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$	orthorhombique
Microcline	1830	KAlSi_3O_8	triclinique
Orthoclase	1823	KAlSi_3O_8	monoclinique
Paracelsian		$\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	monoclinique
Reedmergnerite	1954	NaBSi_3O_8	triclinique
Rubicline	1998	$(\text{Rb},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	triclinique
Sanidine	1808	KAlSi_3O_8	monoclinique
Slawsonite		$(\text{Sr},\text{Ca})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	monoclinique
Stronalsite		$\text{SrNa}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$	orthorhombique
Svyatoslavite		$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	monoclinique

ANNEXE 2

L'analyse pétrographique des échantillons de feldspath potassique d'Ain-Barbar et de Kabylie nous a permis de prendre quelques photos de différentes positions de lames minces.

1. Gisement d'Ain-Barbar :



Fig.1. Lame mince agrandie à 100 fois, montre un micro phénocrystal de feldspath

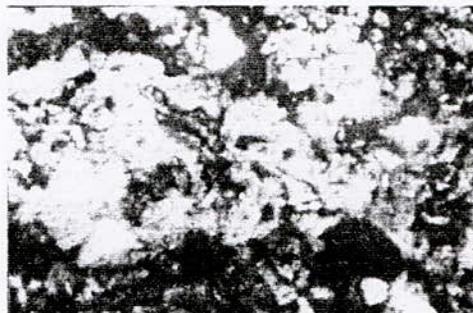


Fig.2. Lame mince agrandie à 100 fois, montre un agrégat de quartz et de feldspath, avec un cristal de biotite altérée [marron, vert]. Des oxydes de fer (noirs) apparaissent sur la photo

2-

3- Gisement d'Abouda-Bouaba :

● L'échantillon (KI) :



Fig.1. Lame mince agrandie à 100 fois, montre un cristal de feldspath, entouré de muscovite

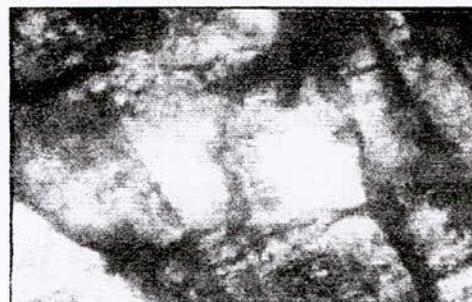


Fig.2. Lame mince agrandie à 100 fois, montre une matière brunâtre (oxyde de fer)

● L'échantillon (KII) :



Fig.1. Lame mince agrandie à 100 fois, montre un feldspath à maclé répétée de l'albite



Fig.2. Lame mince agrandie à 33 fois, montre un feldspath maclé, muscovite (apparaît en bleu), et des oxydes de fer

BIBLIOGRAPHIE

[1]- **H.HAVRE (1952) ;**

Préparation mécanique et concentration des minerais par flottation et sur liqueurs denses

[2]- **D.W. FURSTENAU (1962);**

Froth flotation. 50th Anniversary volume

[3]- **American cyanamid-compagny (1976) ;**

Manuel de produits chimiques Cyanamide pour l'industrie minière

[4]- **Bulletin du BRGM (1976) ;**

Aperçu sur les méthodes d'étude des concentrés alluvionnaires au laboratoire des alluvions du B.R.G.M

[5]- **A.A KUKHARENKO (1957);**

Minéralogie des dépôts détritiques meubles

[6]- **L. Comprendon (1970) ;**

Guide pratique du chimiste métallurgiste et de l'essayeur

[7]- **SONAREM (1971) ;**

Rapport: travaux de recherche géologique exécutés sur le gisement des pegmatites d'Abouda-Bouada

[8]- **A.F. Taggart (1960);**

Hand book of mineral dressing, Manuel de mineralurgie

[9]- **P. BLAZY P.U.F paris (1970) ;**

La valorisation des minerais

[10]- A.SAADA ENP 2001/2002 ;

Cours de métallurgie

[11]- M. OULD HAMMOU ENP 2000/2001;

Cours de traitement des minerais

[12]- Rapport BRGM (1997) ;

Etude de faisabilité sur le felsite d'Ain-Barbar

[13]- BRGM (septembre 1997) ;

Etude de traitement d'un lot composite de felsite d'Ain-Barbar (Algérie)

[14]- BRGM (décembre 1994) ;

Mémento, roches et minéraux industriels « feldspaths et roches feldspathoïdes »

[15]- Rapport BRGM (1997) ;

Felsite d'Ain-Barbar (Algérie) rapport géologique et évaluation critique des données existantes

[16]- Encyclopédie Encarta 2000

[17]- Encyclopédie Universalise 2000

Internet

[1]- [http:\ WWW. Perso.Wanadoo.fr](http://WWW.Perso.Wanadoo.fr) ;

[2]- [http:\ WWW. Connexion lanaudire.QC.CA](http://WWW.Connexion.lanaudire.QC.CA) ;

[3]- [http:\ WWW. Chez.com](http://WWW.Chez.com) ;

[4]- [http:\ WWW. Ctp.be](http://WWW.Ctp.be) ;

ملخص

إن تحسين نوعية الفلدسباط القادم من منجمي عين بربر "عتابة"، و عبودة بوعدة "تيزي وزو"، يعتمد على فصل المعادن التي تحوي على عنصر الحديد. هذه النسبة من أكسيد الحديد الموجود في المعدن الخام إذا كانت تفوق 0.7%، فإنها غير مرغوب فيها بالنسبة لصناعاتي الخزف و الزجاج. من أجل نوعيات أحسن من الخزف و الزجاج، هذه النسب من أكسيد الحديد لا يجب أن تفوق 0.2%. في هذا العمل قمنا بتتبع الخطوات التالية:

- تحضير المعدن ميكانيكياً،
- الفصل الكهرومغناطيسي لأكسيد الحديد،
- فصل أكسيد الحديد بواسطة الطفو،
- التطهير الكيميائي للفلدسباط.

النتائج المحصل عليها كانت كالاتي:

١- نسبة أكسيد الحديد الموجود في المعدن الخام هي:

- 1.27% من أكسيد الحديد في منجم عين بربر،

- النسبة 1.53% و 1.47%، تمثلان على التوالي كمية أكسيد الحديد في العينات ك١ و ك٢ من

منجم عبودة بوعدة،

الجدول التالي يبين مختلف النتائج المحصل عليها في مختلف التجارب التي قمنا بها:

الطريقة		التطهير الكيميائي		الطفو		الفصل الكهرومغناطيسي		المنجم	
		المهاجمة الحمضية		ع و ن		نسبة Fe ₂ O ₃ العائد الوزني			
		ع و ن	ع و ن	ع و ن	ع و ن	ع و ن	ع و ن		
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
عين بربر		94.60	0.068	99.27	0.47	94.30	0.24	97.60	0.51
عبودة	ك١	-	-	99.13	0.76	68.75	0.17	96.62	0.65
بوعدة	ك٢	-	-	99.45	0.43	74.26	0.14	99.12	0.33

من خلال هذه النتائج المحصل عليها يتبين بأن:

○ بالنسبة لمنجم عين بربر، معالجة الفلدسباط عن طريق الجمع بين الطرق الآتية: الفصل

الكهرومغناطيسي، ثم الطفو و يليه التطهير الكيميائي بواسطة المهاجمة النتريكية، تعطي نتائج جيدة.

○ بالنسبة لمنجم عبودة بوعدة، الجمع بين الفصل الكهرومغناطيسي و يليه الطفو يعطي نتائج مقبولة.

هذه النتائج توافق النسب المطلوبة في مجال صناعة الخزف و الزجاج.

Abstract

The improvement of the feldspar potassique quality coming from layers of Ain-Barbar (Annaba) and of Abouda-Bouada (Tizi-ouzou) rests on the elimination of the mineral carriers of element iron.

The content in Fe_2O_3 of the all coming ($>0.7\%$) is raised too for applications in fine ceramics and in glassware.

Contents required for these last applications must not pass 0.2% .

The plan of action considered in the setting of this work understands:

- The mechanical preparation;
- The magnetic déferrisation;
- The flotation;
- And the chemical purification (lixiviation);

The gotten results are next one:

1. On the basis of a content in initial Fe_2O_3 of:

1.27% for the layer of Ain-Barbar;

1.53% and 1.47% for the layer of Abouda-Bouada (KI and KII);

Results gotten at the time of tests of separation of the iron oxide appear in the following picture:

Process Layer		Electromagnetic separation		Flotation		Lixiviation			
		Ponderal efficiency (%)	Content in Fe_2O_3 (%)	Rp (%)	TFe_2O_3 (%)	Acidic attack		Nitric attack	
						Rp (%)	TFe_2O_3 (%)	Rp (%)	TFe_2O_3 (%)
Ain-Barbar		97.60	0.51	94.30	0.24	99.27	0.47	94.60	0.068
Abouda-Bouada	KI	96.62	0.65	68.75	0.17	99.13	0.76	-	-
	KII	99.12	0.33	74.26	0.14	99.45	0.43	-	-

To seen it of all these results, it comes out again that:

- For the layer of Ain-Barbar, it was necessary to exercise a combination of the three technological processes (magnetic separation, follow-up of flotation, then a lixiviation by nitric attack);
- For the layer of Abouda-Bouada, the combination between processes of magnetic separation and flotation gives good results.

These results answer favorably to requirements fixed by the ceramic industries and glasses.

Résumé

L'amélioration de la qualité du feldspath potassique provenant des gisements d'Ain-Barbar (Annaba) et d'Abouda-Bouada (Tizi-ouzou) repose sur l'élimination des minéraux porteurs de l'élément fer.

La teneur en Fe_2O_3 du tout-venant (>0.7%) est trop élevée pour les applications en céramique fine et en verrerie.

Les teneurs requises pour ces dernières applications ne doivent pas dépasser 0.2%.

Le plan d'action envisagé dans le cadre de ce travail comprend :

- La préparation mécanique ;
- La déferrisation magnétique ;
- La flottation ;
- Et l'épuration chimique (lixiviation) ;

Les résultats obtenus sont les suivants :

1. Sur la base d'une teneur en Fe_2O_3 initiale de :

- 1.27% pour le gisement d'Ain-Barbar ;
- 1.53% et 1.47% pour le gisement d'Abouda-Bouada (KI et KII) ;

Les résultats obtenus lors des tests de séparation de l'oxyde de fer apparaissent dans le tableau suivant :

Procédé Gisement	Séparation électromagnétique		Flottation		Lixiviation				
	Rendement pondéral (%)	Teneur en Fe_2O_3 (%)	Rp (%)	T Fe_2O_3 (%)	Attaque acide		Attaque nitrique		
					Rp (%)	T Fe_2O_3 (%)	Rp (%)	T Fe_2O_3 (%)	
Ain-Barbar	97.60	0.51	94.30	0.24	99.27	0.47	94.60	0.068	
Abouda- Bouada	KI	96.62	0.65	68.75	0.17	99.13	0.76	-	-
	KII	99.12	0.33	74.26	0.14	99.45	0.43	-	-

Au vu de tous ces résultats, il ressort que :

- ✓ Pour le gisement d'Ain-Barbar, il fallait pratiquer une combinaison des trois procédés technologiques (séparation magnétique, suivi de flottation, puis une lixiviation par attaque nitrique) ;
- ✓ Pour le gisement d'Abouda-Bouada, la combinaison des procédés de séparation magnétique et de flottation donne de bons résultats.

Ces résultats répondent favorablement aux exigences fixées par les industries céramiques et verres.

Mots clés :

- Déferrisation magnétique, flottation, épuration chimique (Lixiviation) ;
- Tout-venant, feldspath, oxydes de fer, céramique fine, verrerie ;
- Attaque nitrique, Attaque acide.