

République Algérienne populaire et démocratique
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

Mémoire de master en Génie Minier

**ESSAI DE VALORISATION DU MINERAI DE FER
DE GARA DJEBILET PAR LA METHODE DE LA
SEPARATION MAGNETIQUE-FLOTTATION**

Présenté par :

Devant le jury :

Mlle. GUIROUS Namira.

Dr. BOUTRIA

Présidente

Dr. AKKAL

Examineur

Dr. OULD HAMOU

Rapporteur

Mme MERCHICHI

Rapporteuse

Promotion juin 2015.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont encouragé et soutenue moralement et matériellement pendant les moments les plus difficiles et durant toute ma vie

Mon très cher Père Ma très chère Mère

A mes très chères sœurs, leurs Epoux, et leurs Enfants.

A mes très chers frères et leurs futures épouses.

A ma tante et mes oncles.

A la mémoire de mon défunt cousin Lyes, que son âme puisse reposer en paix.

A tous les amis que j'ai eu la chance d'avoir.

A mon binôme Mohammed et toute sa famille.

A tous ceux que j'aime

Merci

Namira.

Remerciements

Avant tout nous tenons nos remerciements à dieu tout puissant
De nous avoir donné la force et le courage.

Il nous est un grand plaisir de passer à travers ces lignes un message de gratitude
et
de profonde reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à la réalisation
et à
L'aboutissement de ce travail.

Nos reconnaissances vont aussi à nos encadreurs
Docteur **OULD HAMOU Malek** et
Madame **MERCHICHI** amira
Et chef du département du génie minier au sein de l'école Nationale
polytechnique d'Alger
Pour son aide précieuse, et son
Encouragement. Nous le remercions pour sa confiance, Sa disponibilité, Son
soutien et sa
Bienveillance qu'il a témoignée à notre égard.

Nous remercions également, les enseignants, **Dr. BOUTRIA, Dr
AKKAL**, d'avoir accepté de juger ce travail.

C'est un honneur de les compter parmi le jury de cette thèse.

A tous les professeurs du département du Génie Minier
A tous ce qui furent à un moment ou à tout instant partie prenante de ce travail
et surtout

Monsieur **Mezianimustapha, Moussaoui El abess**,
Nos plus chaleureux remerciements pour tous ceux qui de près ou de loin ont
contribué à
Réalisation de ce projet

Résumé

Notre travail consiste en l'enrichissement du minerai de fer Gara Djebilet par une combinaison de deux méthodes de valorisation qui sont la séparation magnétique suivie d'une séparation par flottation afin d'obtenir un produit marchand de bonne qualité.

La mine de Gara Djebilet dont les réserves sont immenses (environ 2 milliards de tonnes), offre à l'Algérie la possibilité de devenir l'un des premiers producteurs d'acier au monde, pour cela les travaux d'exploitation et la recherche de méthodes de valorisation adéquates est nécessaire voir indispensable.

Mots clés :

Hématite, Gara Djebilet, séparation magnétique, flottation, enrichissement, Acide oléique.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إثراء خام الحديد من منجم غار جبيلات بتندوف باستخدام طريقتين لمعالجة المعادن التي تشمل الفصل المغناطيسي يليه فصل التعويم للحصول على منتج تجاري من نوعية جيدة. منجم غار جبيلات يحتوي على خزائن ضخمة (حوالي 2 مليار طن)، الذي يتيح للجزائر الفرصة لتصبح إحدى الشركات الرائدة في إنتاج الصلب العالم , لتحقيق هذه الغاية البحوث العلمية و طرق التقييم المناسبة أمر ضروري.

الكلمات المفتاحية

الهيماتيت، غار جبيلات، الفصل المغناطيسي، حمض الأولييك ، التعويم ، إثراء ، الطاولة الهزازة.

Abstract

The aim of our work involves the enrichment of iron ore of Gara Djebilet by a combination of two-valuation method that is magnetic separation followed by flotation separation to obtain a commercial product of good quality.

Gara Djebilet mine whose reserves are huge (about 2 billion tons), offers to Algeria the opportunity to become a leading world steel producers, for operating this work and adequate research valuation methods is necessary even essential.

Keywords:

Hematite, Gara Djebilet, magnetic separation, Oleic acid, flotation, enrichment, flotation.

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Analyse du minerai de Fer de Gara Djebilet	9
Tableau III.1 : Résultats de l'analyse granulométrique	21
Tableau III.2 : Résultats de séparation magnétique pour la classe granulométrique -250 μ m +160 μ m	25
Tableau III.3 : Résultats de séparation magnétique pour la classe granulométrique -160 μ m +80 μ m	25
Tableau III.4 : Résultats de séparation magnétique pour la classe granulométrique -80 μ m	26
Tableau III.5 : Résultats de la flottation pour la classe granulométrique -250 +160 μ m	28
Tableau III.6 : Résultats de la flottation pour la classe granulométrique -160 +80 μ m	29
Tableau III.7 : Résultats de la flottation pour la classe granulométrique -80 μ m	30

Liste des Figures

Figure II.1: Schéma de principe de séparation	13
Figure III.1 : Schéma d'un concasseur à mâchoires	17
Figure III.2 : Concasseur giratoire de type DENVER	18
Figure III.3 : Concasseur à mâchoires	18
Figure III.4 : Broyeur à boulets	19
Figure III.5 : Tamiseuse	20
Figure III.6 : Courbe granulométrique des passants et du refus du minerai de fer en fonction des diamètres des tamis.	21
Figure III.7 : Cellule de flottation	27
Figure III.8 : Mousse récupérée après l'essai de flottation	28
Figure III.9 : Différence de couleur obtenue par flottation pour la classe granulométrique (160-80 μm)	30
Figure III.10 : Différence de couleur obtenue par flottation pour la classe granulométrique (<80 μm)	31

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 :	2
Généralités sur le Fer et Le Gisement de Gara Djebilet.....	2
I.1 Propriétés physico chimique du Fer.....	3
I.2 Production Mondiale du Fer	4
I.3 Géologie des gisements de Fer.....	4
I.3.1 Quartzites ferrugineux	4
I.3.2 Gisements associés.....	5
I.3.3 Minerais de ségrégation dans les roches acides	6
I.3.4 Minerais oolithiques.....	6
I.3.5 Autres types	6
I.5 Gisement de Gara Djebilet.....	7
I.5.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	7
I.5.2 Géologie et genèse du gisement.....	7
I.5.3 Le minerai de Fer de Gara Djebilet.....	8
CHAPITRE 2 :	10
Méthodes de Séparation des Minerais.....	10
II.1 Séparation magnétique.....	11
II.1.1 Introduction	11
II.1.2 Bases théoriques de la séparation magnétique	11
II.2 Séparation par flottation	14
II.2.1 Introduction :	14

II.2.2 Réactifs de flottation :.....	14
II.2.3 Conditions de flottation:	15
CHAPITRE 3 :	16
Partie Experimental	16
III. Introduction	17
III.1 Préparation mécanique :	17
III.1.1 Le concassage.....	17
III.1.2 Le Broyage	19
III.1.3L'échantillonnage	19
III.4 L'analyse granulométrique.....	20
IV.4.2 Interprétation	21
III.5 Les méthodes de valorisation utilisées	23
III.5.1 Séparation magnétique	24
III.5.2Flottation	26
Conclusion Générale	32
Références bibliographique :.....	36

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'Algérie recèle des potentialités minières importantes mais qui ne sont pas complètement exploitées. Ces potentialités doivent être développées afin de dynamiser l'activité industrielle et assurer une augmentation de l'emploi ainsi qu'une diversification de nos exportations, et pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de mener les nouvelles techniques d'exploitation et surtout de traitement des minerais dans nos activités minières et industriels.

Parmi ces potentialités nous citerons le gisement de Gara Djebilet qui est le 3^{ème} au monde en termes de réserves géologique qui a été découvert en 1952.

L'objectif de cette étude est d'enrichir le minerai de fer de Gara Djebilet afin d'obtenir un produit marchand de meilleure qualité, dans le but de multiplier les réserves industrielles de substances utiles à partir des minerais pauvres ou complexes, et de contribué au développement de la production de l'acier.

Dans ce présent mémoire : Essai de Valorisation du minerai fer de Gara Djebilet par la combinaison de deux méthodes de séparation qui sont : la séparation magnétique suivie d'une flottation, Tindouf, nous avons développé les parties suivantes :

- Le premier chapitre : sera consacré à la littérature sur le minerai de fer et la géologie du gisement de Gara Djebilet.
- Deuxième chapitre : nous parlerons des différentes méthodes de séparation du minerai de fer, dont quelques-unes seront utilisées plu tard dans la partie expérimentale
- Troisième chapitre : c'est la partie expérimentale qui comprend le plan d'échantillonnage, la caractérisation minéralogique, ainsi que les résultats de nos essais.

Pour finir nous avons clôturé notre étude par une conclusion générale.

CHAPITRE 1 :

Généralités sur le Fer et Le
Gisement de Gara Djebilet

I. Généralités sur le minerai de Fer

I.1 Propriétés physico chimique du Fer

Le fer est un élément chimique, de symbole Fe et de numéro atomique 26. C'est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, sous forme pure ou d'alliages. Le fer pur est un métal de transition ductile, mais l'adjonction de très faibles quantités d'éléments d'additions modifie considérablement ses propriétés mécaniques. Allié au carbone et avec d'autres éléments d'additions il forme les aciers, dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus les propriétés du matériau.

C'est un métal qui, en fonction de la température, se présente sous plusieurs formes allotropiques :

- dans les conditions normales de pression et de température, c'est un solide cristallin de structure cubique centré (fer α ou ferrite) ;
- à partir de 912 °C, il devient cubique à faces centrées (fer γ ou austénite) ;
- au-delà de 1 394 °C, il redevient cubique centré (fer δ) ;
- il fond à 1 538 °C ;
- la transformation en fer ϵ (structure hexagonale compacte) se produit à température ambiante à 130 kilobars.

Sa capacité calorifique est de 0,5 kJ/kg/°C.

Le fer est ferromagnétique : les moments magnétiques des atomes s'alignent sous l'influence d'un champ magnétique extérieur et conservent leur nouvelle orientation après la disparition de ce champ. des courants de convection dans la couche externe du noyau terrestre (noyau externe), de « l'alliage » liquide principalement fer-nickel, sont supposés être à l'origine du champ magnétique terrestre.

Il a une dureté entre 4 et 5 sur l'échelle de Mohs.

I.2 Production Mondiale du Fer

La production mondiale de minerai de fer s'est élevée à 2,4 milliards de tonnes en 2010, assurée en grande partie par la Chine (37,5 %), devant l'Australie (17,5 %), le Brésil (15,4 %), l'Inde (10,8 %), la Russie (4,2 %) et l'Ukraine (3,0 %) ; les réserves mondiales de minerai de fer sont estimées à 180 milliards de tonnes, contenant 87 milliards de tonnes de fer, et sont détenues essentiellement par l'Ukraine (16,7 %), le Brésil (16,1 %) et la Russie (13,9 %). La Chine a produit 60 % du fer métallique mondial en 2010 (environ 600 millions sur 1 milliard de tonnes) et 45 % de l'acier mondial (environ 630 millions sur 1,4 milliard de tonnes), devant le Japon (8,2 % du fer et 7,9 % de l'acier produits dans le monde).

I.3 Géologie des gisements de Fer

Le fer est l'un des éléments les plus abondants de l'écorce terrestre qui en contient près de 5 %. C'est très probablement un des constituants essentiels du noyau, il est également présent dans les météorites et les poussières cosmiques.

Il s'est concentré en gisements, à de nombreuses époques géologiques, en de multiples endroits de la croûte terrestre et dans des conditions génétiques variées.

Une des classifications géologiques les plus complètes est celle qui est basée sur la notion de type telle que l'a proposée F. Blondel en 1955 et que l'a développée P. Routhier en 1963. Elle ne distingue pas moins de quinze types de gisements et un certain nombre de sous-types.

Tous les types répertoriés n'ont évidemment pas la même importance sur le plan économique. Seuls ceux qui correspondent aux minerais le plus fréquemment utilisés par la sidérurgie

I.3.1 Quartzites ferrugineux

Généralement rubanés, ce sont, à l'origine, d'énormes dépôts de quartzites ferrifères dont les seuls éléments sont pratiquement la silice et les oxydes de fer.

Ces formations apparaissent dans tous les vieux socles précambriens du monde : Amérique du Nord, Brésil, Venezuela, Afrique, Scandinavie, Russie, Ukraine, Inde, Australie, et portent

divers noms consacrés par les usages locaux (*itabirite, iron formation, taconite, bandedhematite, quartzite, jaspillite, etc.*). Leur origine sédimentaire par précipitation chimique est très généralement admise.

D'après une hypothèse formulée plus récemment, le dépôt pendant le Précambrien de quantités considérables de quartzites ferrugineux serait étroitement lié au développement de la vie dans les océans, à une époque où l'atmosphère était composée d'azote et de gaz carbonique, mais dépourvue d'oxygène, et où les eaux, rendues acides par ce gaz carbonique, pouvaient dissoudre de grandes quantités de fer à l'état de fer ferreux. La formation de ces quartzites limitait la pression de l'oxygène à un faible niveau par fixation de tout l'oxygène produit par photosynthèse; ce n'est que lorsque le fer fut entièrement précipité que l'oxygène put s'accumuler dans l'atmosphère, permettant l'apparition de nouvelles formes de vie.

Ces dépôts très anciens ont été soumis à un métamorphisme plus ou moins intense, et parfois ont été fortement plissés, ce qui a favorisé leur évolution ultérieure et la formation des minerais riches à hématite.

Les premiers quartzites ferrugineux exploités ont été ceux du Lac Supérieur (États-Unis). Puis ont été mis en exploitation les gisements du Québec-Labrador, du bassin de Krivoï Rog, du bassin de Suède Centrale et du Liberia (Bong)

I.3.2 Gisements associés

La plupart des grands gisements de minerais riches à hématite se sont formés aux dépens des quartzites ferrugineux, par lessivage de la silice dans des conditions géologiques et géographiques particulières et encore mal élucidées avec, dans certains cas, remise en mouvement d'une partie du fer en dissolution.

Malgré leur origine semblable, les gisements de minerais riches à hématite présentent entre eux des différences importantes, liées au dépôt originel, aux influences métamorphiques et tectoniques (plissements) qu'ils ont pu subir et aux conditions particulières de leur altération.

Les minerais riches à hématite sont associés à la plupart des formations de quartzites ferrifères (Canada, États-Unis, Venezuela, Brésil, Inde, Mauritanie, Australie, etc.). Ils constituent souvent des amas de plusieurs centaines de millions de tonnes et sont exploités dans de très grandes mines à ciel ouvert.

I.3.3 Minerais de ségrégation dans les roches acides

Ils sont tous associés à des laves acides et comprennent toujours de la magnétite, de l'oligiste (martite) et de l'apatite. Les teneurs en fer varient entre 50 et 71 %, avec 0,8 à 2 % de phosphore. Les alcalins sont relativement abondants, le titane et le vanadium sont fréquents.

Leur nom vient de l'interprétation que les géologues ont donné pendant longtemps de leur origine : il était admis que la minéralisation dérivait du même magma que les porphyres dont elle s'était différenciée en profondeur (d'où le terme de ségrégation).

I.3.4 Minerais oolithiques

Les minerais de fer oolithiques sont très répandus mais pratiquement plus exploités. Les gisements se sont formés pendant les ères primaire et secondaire. Ce sont tous des gisements sédimentaires marins, caractérisés par une texture oolithique : les oolithes sont des grains ovoïdes concrétionnés formés de couches concentriques, leurs dimensions varient de 80 µm à 2 mm environ.

Sur le plan minéralogique, ces minerais sont caractérisés par une grande variété de constituants : limonite, hématite rouge, oligiste, chlorites, magnétite, sidérose, pyrite, quartz et calcite, dont les proportions peuvent varier d'un gisement à l'autre mais aussi à l'intérieur d'un même gisement. (Gîte oolithique d'Ain Babouche, Gara Djebilet en Algérie).

I.3.5 Autres types

On se limitera à trois d'entre eux, qui présentent ou ont présenté jusqu'à une date récente un certain intérêt pour les sidérurgistes.

- *Gisements pyrométasomatiques* sont caractérisés par la présence d'une formation particulière appelée skarns, très colorée et riche en espèces minérales variées, due à un métamorphisme de contact ou régional intense. Les minerais correspondants sont à magnétite et à oligiste. Ils peuvent être pauvres ou riches en manganèse et contiennent souvent des éléments indésirables : cuivre, phosphore, etc. Les gisements de l'Oural, le gisement de Marcona au Pérou, Rouina-Anini, et Aïn Sedma en Algérie, aussi de nombreux gisements chinois sont rattachés à ce type.
- *Gisements de substitution* se sont formés par circulation d'eaux hydrothermales chargées en fer, qui ont entraîné le remplacement de calcaire par de la sidérose. Celle-ci s'est ensuite transformée en hématite par altération au contact des eaux de surface. Le gisement d'Ouenza, en Algérie, appartient à ce type.

- *Les placers* sont des dépôts de minéraux lourds le long des rivages ou dans les rivières. Certains rivages présentent ainsi de grandes accumulations de minéraux ferrifères (magnétite associée généralement à de l'ilménite) mélangés à du sable et faciles à enrichir. De tels gisements sont exploités à grande échelle en Nouvelle-Zélande.

I.5 Gisement de Gara Djebilet

Situé en plein désert et éloigné de toute voie de communication, le gisement de fer de Tindouf est resté ignoré jusqu'à la fin de 1952, époque à laquelle P. **GEVIN**, Géologue Principal au Service de la Colonisation et de l'Hydraulique, l'a découvert en levant la carte géologique de la région

I.5.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le gisement de fer de Gara Djebilet est situé dans les formations du Dévonien inférieur du flanc Sud du synclinal de Tindouf orienté OSO-ENE qui s'est développé depuis le début du silurien, à une distance d'environ 135 km au S-O de cette agglomération. Les séries primaires qui constituent cette région présentent un pendage très faible vers le Nord (1° environ), et reposent en discordance sur le socle antécambrien, qui affleure plus au Sud sous la forme du massif granitique du Yetty, Ce sont des séries sédimentaires de puissance généralement variable, mais n'ayant subi à peu près aucune manifestation tectonique. Le trait le plus saillant de la topographie locale est l'existence d'une grande falaise, regardant vers le Sud, dont la partie supérieure est constituée par le minerai lui-même, et qui s'abaisse progressivement vers l'Est, pour disparaître à l'extrémité N-E de la Gara Centrale.

I.5.2 Géologie et genèse du gisement

Le gisement proprement dit est constitué de trois lentilles occupant le même niveau stratigraphique (base de l'Emsien) et s'alignant selon un axe Est-Ouest. Ces trois lentilles, ou « Garas » que l'on appelle simplement Gara Ouest, Gara Centrale (ou Gara Djebilet proprement dite) et Gara Est, sont constituées d'un minerai oolithique, dont la nature sédimentaire n'est mise en doute par personne. Les Garas Ouest et Centrale montrent une puissance d'une dizaine de mètres et couvrent en affleurement des superficies de 34 et 72 km²

respectivement. En raison du faible pendage N, les couches minéralisées s'enfoncent vers le Nord sous les termes supérieurs, de sorte que l'extension véritable du gisement est certainement plus vaste encore. Un levé magnétique au magnétomètre aéroporté a permis d'estimer la largeur de la Gara Centrale qui est de l'ordre de 5,5 km au lieu des 3,5 km visibles en affleurement. Cette Gara se prolonge également en longueur de quelques km au-delà de la limite N-E des affleurements.

Les oolithes se seraient formées sur place, sur des bas-fonds proches de la côte et occupant l'emplacement actuel des Garas.

En dépit de sa structure générale relativement simple, le gisement apparaît comme assez complexe, en ce qui concerne la composition minéralogique du minerai, la répartition des teneurs. Cette complexité doit être attribuée à la grande variabilité des conditions physico-chimiques contemporaines de la formation du gisement et immédiatement postérieures à celle-ci. Si l'on se souvient que la Gara Centrale s'étend sur une longueur d'au moins 20 km, et si l'on ajoute à cela la position littorale de cette zone au moment du dépôt, il n'y a rien d'étonnant à ce que les conditions de la sédimentation ne soient restées constantes ni dans l'espace, ni dans le temps. L'évolution ultérieure n'a pu qu'accentuer les différenciations originelles, des émergences partielles au Dévonien aussi bien qu'un lessivage inégal à une époque plus récente, ayant sans doute provoqué une oxydation d'intensité variable dans les différentes parties du gisement.

I.5.3 Le minerai de Fer de Gara Djebilet

Le minerai de Gara Djebilet est un minerai sédimentaire oolithique, qui a subi des phénomènes d'oxydations, peut-être accompagnés d'actions thermiques. Les oolithes sont constitués par la sidérose (Carbonate FeCO_3) et la chlorite (Phyllosilicate à feuillettes élémentaires épais hydraté et ferromagnésien $(\text{Mg, Fe, Al})_3 \text{Mg}_3 [(\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10}(\text{OH})_2](\text{OH})_6$), mais on ne peut affirmer que la sidérose ne résulte pas d'une première altération de la chlorite.

Ensuite, sidérose et chlorite ont été oxydés en Fe_2O_3 et Fe_3O_4 avec éventuellement passage intermédiaire de goethite (Hydroxyde FeO-OH). Suivant l'intensité de l'oxydation, de la magnétite en oligiste (hématite), etc... . On doit s'attendre à trouver tous les types intermédiaires entre le minerai chloriteux, généralement pauvre et situé à la partie inférieure de la couche, et les minerais oxydés. Parmi ces derniers, on distingue sur le terrain un minerai oolithique violet, relativement poreux et à oolithes bien visibles, et un minerai compact plus

dur, à éléments plus fins et à oolithes mal conservées. Cette distinction est indépendante du magnétisme du minerai: la répartition de la magnétite et du Fe_2O_3 ferromagnétique ne paraît pas obéir à une loi simple. La gangue est siliceuse et accessoirement calcaire, lorsque de la calcite de néoformation s'est déposée dans les fissures du minerai. Signalons la présence de phosphore, à des teneurs de l'ordre de 0,6-0,8 %, et qui, selon Mlle DEUDON, serait due à l'existence de phosphates de fer. Il s'agit donc d'un minerai semi-phosphoreux.

A titre d'exemple, dans ce tableau est représentée une analyse complète, qui peut être considérée comme assez représentative

Tableau I.1 : Analyse du minerai de Fer de Gara Djebilet

Fe ² O ³	79,4 %	(Fe : 55,6 %)	CuO	0,002 %
Mn ² O ³	0,10 %	Mn : 0,07 %	PbO	0,007 %
SiO ²	6,2 %		ZnO	0,045 %
Al ² O ³	6,4 %		NiO	0,004 %
TiO ²	0,17 %		CoO	0,0005 %
CaO	0,94 %		As ² O ³	0,048 %
BaO	0,02 %		Cr ² O ³	0,004 %
MgO	0,09 %		V ² O ⁵	0,08 %
SO ³	0,20 %	(S : 0,08 %)	CO ²	0,90 %
P ² O ⁵	1,38 %	(P : 0,60 %)	H ² O	4,10 %

Source :GEORGES MATHERON

CHAPITRE 2 :

Méthodes de Séparation des Minerais

II. Méthodes de séparation du minerai de Fer

II.1 Séparation magnétique

II.1.1 Introduction

Parmi les procédés que nous allons adopter dans nos recherches, on peut citer : la séparation magnétique à haute intensité (SMHI), la séparation magnétique à basse intensité (SMBI).

La composition minéralogique, révèle la présence des oxydes de fer dans le minerai hématitique à caractère magnétique, ce qui mit la séparation magnétique comme le procédé d'enrichissement nécessaire.

II.1.2 Bases théoriques de la séparation magnétique

Comme son nom l'indique, la séparation magnétique exploite les propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation en voie sèche ou humide. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique.

Pour décrire une excitation magnétique, deux entités différentes sont utilisées : le champ magnétique \vec{H} et l'induction magnétique \vec{B} qui, dans le vide, ne sont pas indépendantes, mais liées par l'équation :

$$\vec{H} = \mu_0 \vec{B}$$

Avec : μ_0 perméabilité du vide égale à $4\pi \times 10^{-7}$ H.m⁻¹.

Etant donné un champ magnétique \vec{H} , un corps quelconque, de dimensions telles que \vec{H} puisse être considéré comme constant dans tout son volume, acquiert une intensité d'aimantation \vec{I} telle que

$$\vec{I} = k \cdot \vec{H}$$

Avec : k susceptibilité magnétique de la matière considérée (notée aussi c dans la littérature).

La susceptibilité magnétique peut être exprimée par rapport à l'unité de masse ; on parle alors de susceptibilité magnétique massique ou spécifique c ($c = k / p$; avec p masse volumique du corps considéré).

Les substances diamagnétiques et paramagnétiques présentent une aimantation proportionnelle à la valeur du champ magnétique. Ces corps sont donc appelés magnétiques parfaits et ont une valeur de susceptibilité magnétique spécifique :

CHAPITRE 3

- La susceptibilité k est Négative : pour les éléments diamagnétiques ($-2 \cdot 10^{-9}$ à $-7 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{kg}$).
- La susceptibilité k est Positive : pour les éléments paramagnétiques ($0,1 \cdot 10^{-6}$ à $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Enfin il existe une catégorie de corps très réduite pour lesquels cette constante n'existe pas. On les appelle les ferromagnétiques ; ce sont entre autres le fer et la magnétite.

Un séparateur magnétique est un appareil qui modifie les caractéristiques du champ magnétique dans l'espace de traitement. Il engendre en particulier un champ magnétique agissant de façon sélective sur les corps qui présentent la plus grande aptitude à l'aimantation. Dans les opérations de tri magnétique (concentration ou épuration).

En plus de cette force d'attraction, qui agit sur les particules magnétiques, s'applique, à toutes les particules magnétiques ou non, une combinaison de forces agissant dans différentes directions et dont les plus fréquemment rencontrées sont :

- Force de gravité.
- Force centrifuge.
- Force d'entraînement par le fluide.

Pour que la séparation ait lieu, il est nécessaire que la valeur de la force magnétique soit supérieure à la somme des forces antagonistes, développées par le système, et des forces inter-particules (**Figure II.1**).

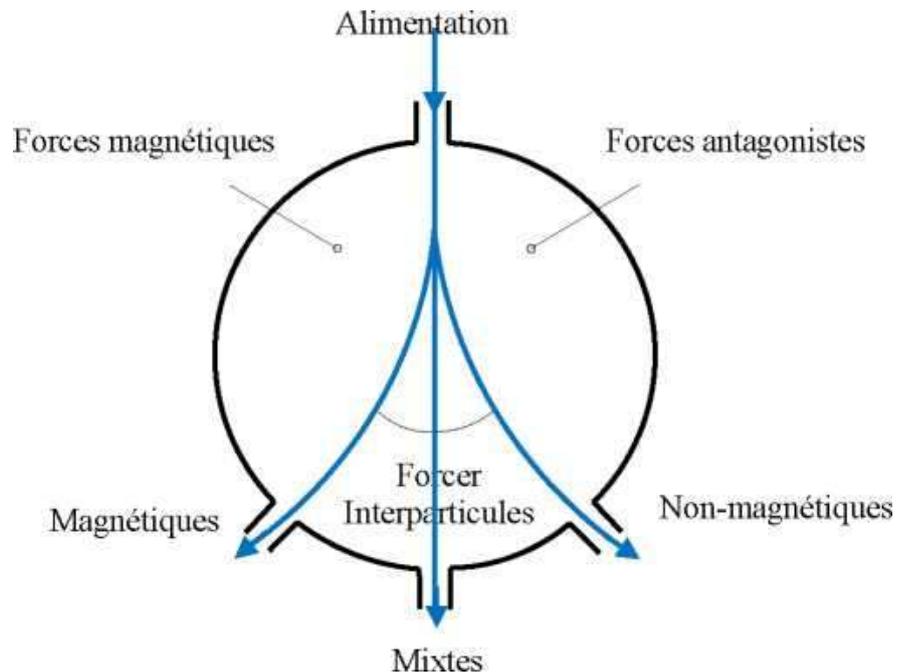


Figure II.1: Schéma de principe de séparation

Source : J. Bloneau; *Élaboration et recyclage des métaux (Minerais et Fondants- Minerais de fer)* Techniques de l'Ingénieur, M 7 040/2005

Il existe deux possibilités pour la séparation magnétique :

La séparation magnétique dite à haute intensité (S.M.H.I) ; elle fait appel à des champs magnétiques forts pouvant atteindre 20.000 à 22.000 Gauss. Elle est utilisée pour les minerais peu magnétiques tels que les silicates ou les carbonates (sidérose, limonite) ou encore des ferromagnétiques faibles (hématites).

La séparation magnétique dite à basse intensité (S.M.B.I) ; elle fait appel à des champs magnétiques faibles (800 à 1500 Gauss). Elle est utilisée pour traiter les éléments ferromagnétiques tels que la magnétite naturelle ou artificielle, fer métal obtenu par réduction directe.

Dans le cas de notre étude, nous avons réalisé cet essai avec le séparateur électromagnétique existant au laboratoire de traitement, lequel est conçu pour une séparation magnétique à haute intensité à sec, pour une granulométrie ne dépassant pas 2 mm. Nous avons travaillé avec ce séparateur qui ne convient pas à notre minerai qui est très fortement magnétique. Nous ne disposons pas de séparateur à basse intensité. Nous avons opéré avec des intensités différentes.

II.2 Séparation par flottation

II.2.1 Introduction :

La flottation est une technique de séparation fondée sur des différences d'hydrophobicité des surfaces des particules à séparer. Elle est utilisée en minéralurgie pour séparer des minéraux entre eux. Les composantes qui interagissent Lors d'une flottation sont généralement : l'eau, les bulles d'air et les particules solides. C'est donc au niveau des différentes surfaces que se produit la réaction permettant ou non aux particules solides d'interagir avec les bulles d'air pour être ainsi flottées. La majorité des particules solides possèdent, de façon naturelle des affinités avec l'eau. Ce qui nuit considérablement à la flottation puisqu'elles n'auront aucune interaction avec les bulles d'air à caractère hydrophobe.

II.2.2 Réactifs de flottation :

Les réactifs de flottation se divisent en deux classes :

➤ 1ere classe :

Les réactifs de flottation agissent sur la surface des minéraux ; en dépendance de leur fonction, ces réactifs se divisent en quatre groupes :

- Les collecteurs : ce sont des substances organiques ; l'action de ce groupe consiste à diminuer la mouillabilité des surfaces des surfaces des minéraux, par la formation sur leur surface des pellicules hydrophobes qui contribuent à une meilleure adhérence des particules aux bulles d'air.
- Les déprimants : ces réactifs sont utilisés afin de diminuer la flottabilité des minéraux. Les déprimants la fixation des collecteurs sur la surface des minéraux.
- Les activants: ils contribuent à la fixation des collecteurs sur la surface des minéraux.
- Les régulateurs de milieu : Ils changent l'acidité ou la basicité de la pulpe, neutralisent l'action des différents sels solubles, il empêche la coagulation des particules très fines

❖ Les paramètres à étudier pendant la flottation sont :

- PH ;
- Conditionnement ;
- Réactif ;
- H₂O ;
- Temps de flottation.

- 2^{ème} classe: les réactifs de flottation agissent sur la surface de séparation gaz-liquide. Ce sont les moussants qui forment une couche autour des bulles d'air les aident à se disperser dans la pulpe, leur donnant la stabilité nécessaire à la formation de la mousse.

II.2.3 Conditions de flottation:

1°) Obtention de bulles d'air stables pour former une mousse

2°) Adhésion des particules aux collecteurs

3°) Lévitation de minerais valorisable accrochés aux bulles d'air et leur récupération dans la mousse

❖ Les étapes de la flottation :

- ✓ Flottation principale.
- ✓ Flottation de contrôle.
- ✓ Flottation de relevage.

CHAPITRE 3 :

Partie Expérimental

III. Introduction

Le minerai de fer en provenance de la région de Gara Djebilet va faire objet des expérimentations qui vont suivre. Les échantillons ramenés par Mr GUERRAK Salah, dans le cadre de sa thèse de doctorat en Géologie ont été stockés dans de bonnes conditions. Ces échantillons parvenant des endroits différents, d'une même région, ont été utilisés dans les différents essais réalisés au niveau de notre laboratoire de valorisation au département de Génie Minier de l'Ecole Nationale Polytechnique.

Après la préparation mécanique qui comprend le concassage, le broyage et les analyses granulométriques, nous avons soumis les nombreux échantillons aux différentes séparations que nous développons dans ce présent chapitre.

III.1 Préparation mécanique :

III.1.1 Le concassage

Le concassage est une étape très importante dans la préparation mécanique des échantillons de minerai, pour les réduire à des dimensions bien déterminée afin de les soumettre aux différentes méthodes de séparation.

Vue la grosseur du tout-venant prélevé sur le site de Gara djebiletet quiatteint les 150mm, nous avons concassé le minerai en passant par les étages de concassage suivant

- ❖ Concassage primaire : effectué grâce à un concasseur à mâchoires (**Figure III.1**)a permis de réduire les morceaux de minerai jusqu'à 25 mm.

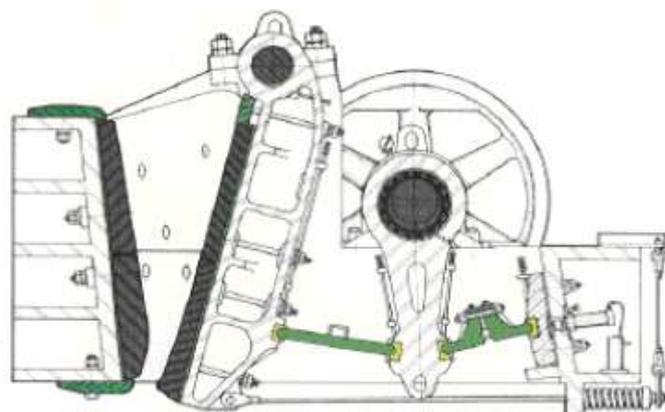


Figure III.1 : Schéma d'un concasseur à mâchoires

- ❖ Le concassage secondaire a été réalisé en utilisant le concasseur giratoire de type DENVER II nous a permis de réduire le produit concassé, provenant du concasseur primaire jusqu'à 12.5 mm.

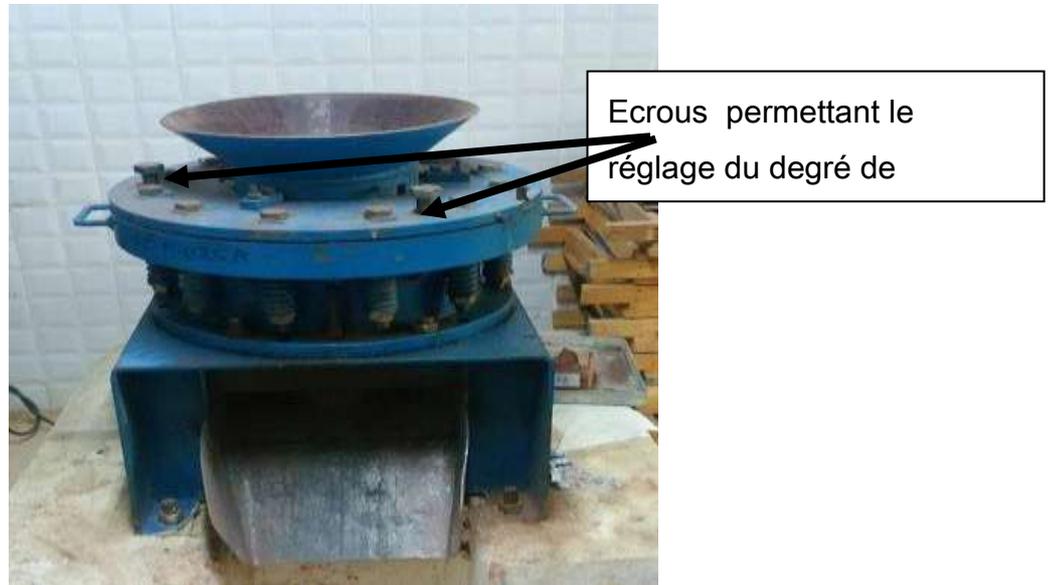


Figure III.2 : Conasseur giratoire de type DENVER

Comme le nous avons rencontré un problème dans le deuxième étage de concassage, (le bourrage du concasseur qui induit un blocage du moteur) ; ceci nous a mené à utiliser un troisième stade de concassage en utilisant :

- ❖ le concasseur à mâchoires (**FigureIII.3**), pour réduire le produit provenant du concasseur giratoire pour obtenir un produit de 5 mm de diamètre.



Figure III.3 : Conasseur à mâchoires

III.1.2 Le Broyage

A la sortie du concasseur, et après avoir réduit la taille des touts venants des trois quartiers ainsi que celle des stériles jusqu'à moins de 3,15mm, l'étape suivante consiste à réduire encore la grandeur des grains jusqu'à une certaine granulométrie afin de pouvoir effectuer les essais de séparation qui exigent une certaine granulométrie.

Dans le but d'atteindre la grandeur voulue, le broyage a été effectué à l'aide d'un broyeur à boulets du laboratoire de minéralurgie de l'Ecole Nationale Polytechnique. Ce dernier permet d'avoir des granulométries allant jusqu'à moins de 80 μ m.



Figure III.4 : Broyeur à boulets

III.1.3L'échantillonnage

L'échantillonnage constitue une étape cruciale dans le processus de caractérisation d'un minerai. La méthodologie de l'échantillonnage est importante pour assurer la conformité. Il nous aide à avoir l'information la plus représentative possible sur le

mineral à étudier afin d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflète toutes les caractéristiques physico-chimiques du minerai cela en utilisant des méthodes manuelles ou bien des machines conçues spécialement à cet effet.

Et pour cela on utilise les méthodes manuelles (quartage), ou bien des machines spécifiques comme le diviseur rotatif.

III.4 L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains appelées fractions granulométriques constituant les échantillons. Ces fractions sont constituées de particules dont la grosseur couvre un intervalle relativement restreint et diminue d'une fraction à l'autre. Il existe plusieurs méthodes d'analyse granulométrique

Parmi ces méthodes, la méthode de tamisage éventuellement utilisée dans notre présente étude permettra la récupération d'échantillons séparés en fonction de la taille des particules

Cette analyse a été effectuée grâce à la tamiseuse électrique de type Retsch-AS200 (Figure III.5), en utilisant des tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures décroissent du haut vers le bas, ensuite le classement des grains s'obtient par une combinaison des mouvements vibratoires horizontaux et des secousses verticales de cette tamiseuse.



Figure III.5 : Tamiseuse

Tableau III.1: Résultats de l'analyse granulométrique

Classe (mm)	poids total de la classe (g)	Poids des Passants	poids des refus	% Passants	% Refus
2,5-3,15	1212	7483	1212	86%	14%
1,6--2,5	2000	5483	3212	63%	37%
1,25--1,6	800	4683	4012	54%	46%
0,8--1,25	1100	3583	5112	41%	59%
0,630--0,8	800	2783	5912	32%	68%
0,4--0,630	300	2483	6212	29%	71%
0,315--0,4	500	1983	6712	23%	77%
0,2--0,315	724	1259	7436	14%	86%
0,160--0,200	645	614	8081	7%	93%
0,100--0,160	167	447	8248	5%	95%
0,080--0,100	80	367	8328	4%	96%
<0,08	367	0	8695	0%	100%

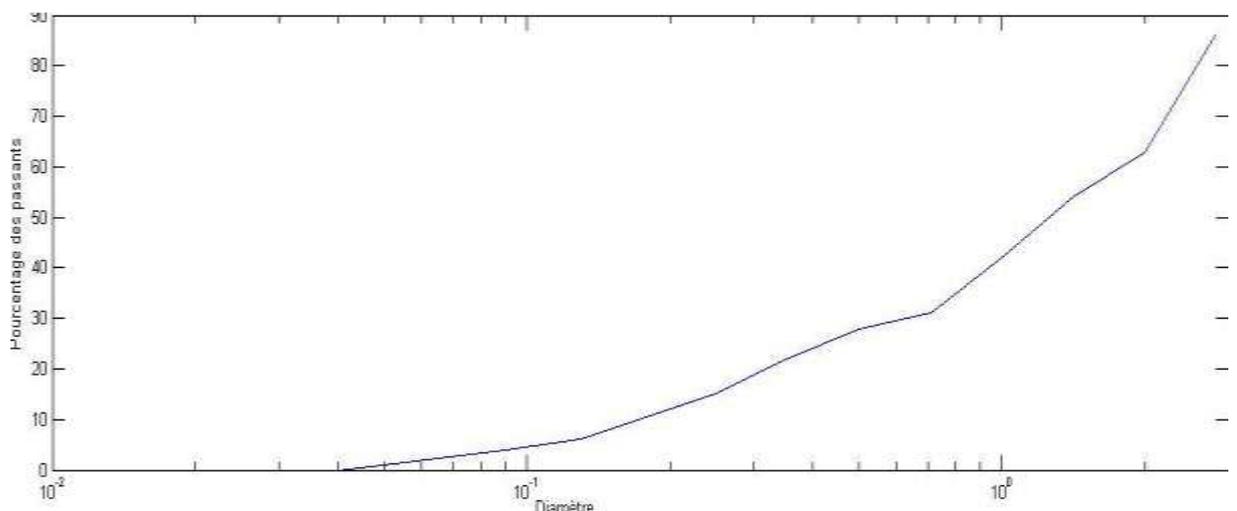


Figure III.6 : Courbe granulométrique des passants et du refus du minerai de fer en fonction des diamètres des tamis.

IV.4.2 Interprétation

Pour connaître le comportement de notre minerai vis-à-vis de l'analyse granulométrique, il y a des coefficients qui nous permettent de déduire l'aspect granulométrique de notre échantillon (serré, étalé, peu de particules fine,...). Ces coefficients sont : Cu, Cc.

❖ **Le coefficient d'uniformité Cu** : qui représente en quelque sorte une caractérisation quantitative de l'étalement d'une courbe granulométrique, il peut être déterminé par la formule suivante :

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Avec :

D60 : des particules pour lesquelles on a un pourcentage de passant cumulé égal à 60%.

D10 : diamètre des particules pour lesquelles, on a un pourcentage de passant cumulé égal à 10%.

D'après la valeur de Cu, la répartition des matériaux se fait en 5 classes :

- $Cu \leq 2$: granulométrie très serrée.
- $2 < Cu \leq 5$: granulométrie serrée.
- $5 < Cu \leq 20$: granulométrie semi étalée.
- $20 < Cu \leq 200$: granulométrie étalée.
- $200 < Cu$: granulométrie très étalée.

❖ **Coefficient de courbure Cc** : permet de quantifier la distribution des particules dans une courbe granulométrique, il est déterminé par la relation suivante :

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Un matériau, comportant peu de particules fines, est généralement caractérisé par un coefficient de courbure supérieur à 1, alors qu'un matériau présentant une granulométrie étalée régulièrement aura un coefficient de courbure de 0.5 environ.

Pour notre échantillon et après calcul des différents diamètres on a trouvé les résultats suivant :

$$D_{60} = 2,25 ; D_{10} = 0,65 ; D_{30} = 0,3$$

Et donc :

$$Cu = 3,46$$

$$Cc = 0,06$$

L'analyse granulométrique nous a permis de déterminer la distribution des particules du minerai vis-à-vis des différentes classes granulométriques et d'après les coefficients qu'on a calculé on peut déduire que :

- L'échantillon du minerai de fer de Gara Djebilet est caractérisé par une granulométrie serrée et présente **un pourcentage de particules fines moyen**.

III.5 Les méthodes de valorisation utilisées

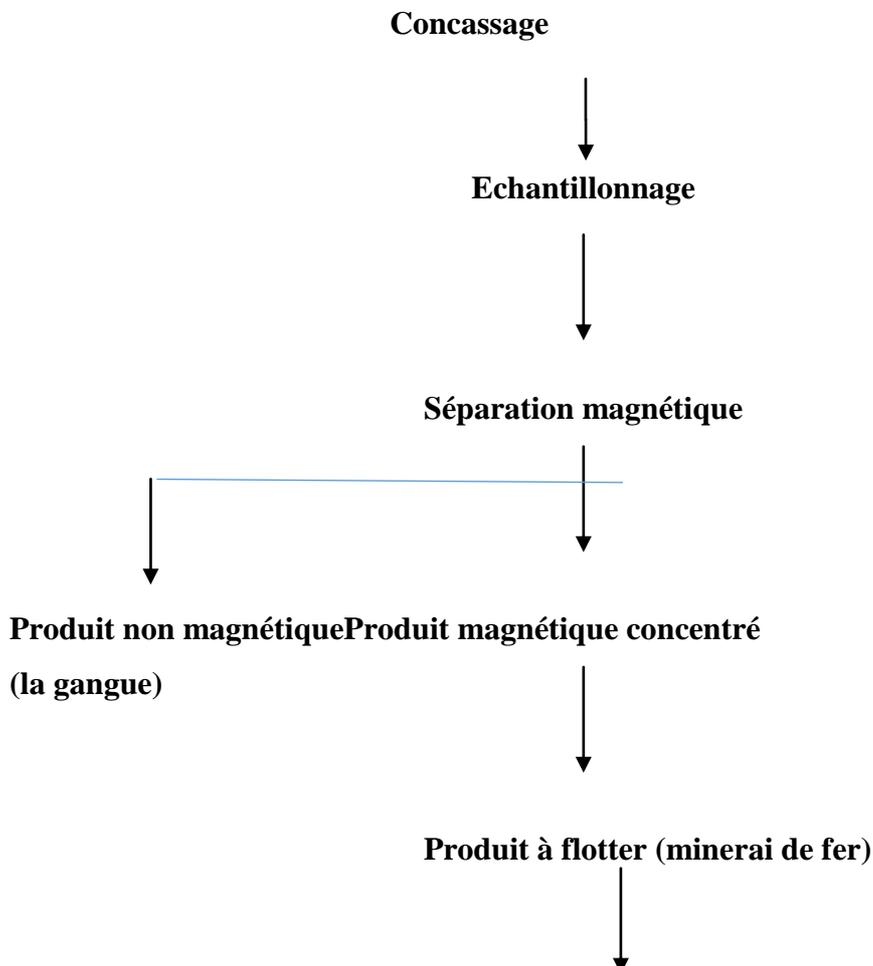
L'enrichissement de notre minerai sera effectué à l'aide de deux types de méthodes de traitement combinés qui sont la flottation et la séparation magnétique

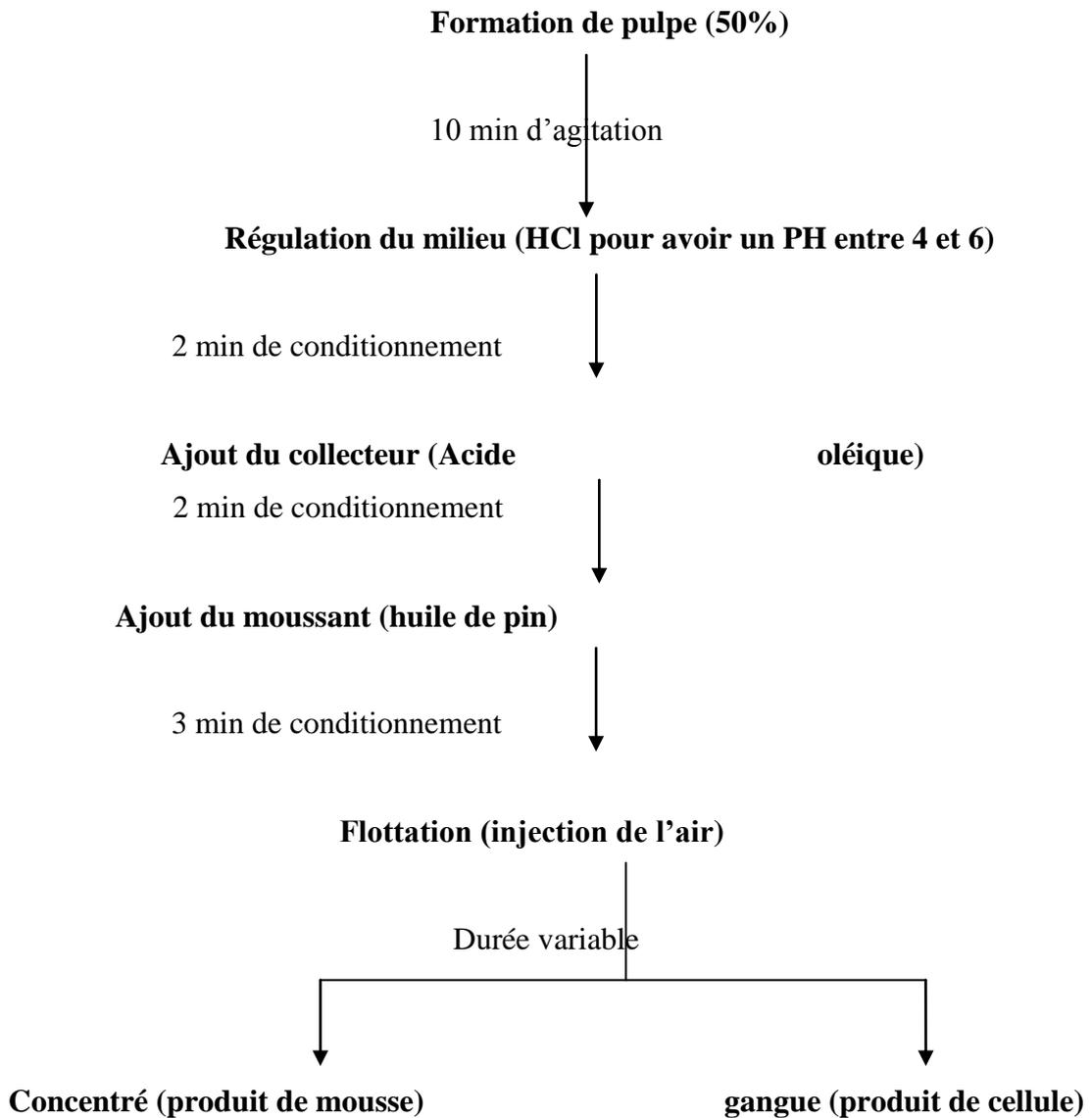
La Séparation magnétique-flottation est utilisée pour les minerais à haute teneur en magnétite.

Ces minerais sont soumis en premier stade au traitement par la séparation magnétique. Cette séparation donne un concentré de produit magnétique et des rejets (produits semi-finis), ces derniers seront mené à nouveau dans le cycle de la flottation afin d'en extraire encore le fer et le séparer de la gangue pour obtenir un produit de meilleure qualité.

A l'état actuel, ce schéma a pris une large application dans le monde. A titre d'exemple, d'entreprises minières, nous citons : Cornwall (USA), Versfobe et Tacou (Canada).

Le principe de traitement se réalise comme présenté dans le schéma qui suit





III.5.1 Séparation magnétique

III.5.1.1 Principe et conditions de l'essai de séparation

Commence par une séparation magnétique en premier lieu. Et cela après une préparation mécanique des échantillons tout en passant par les 3 stades de concassage ; et pour atteindre une certaine granulométrie nous avons dû utiliser le broyeur à boulet.

Afin d'effectuer nos essais nous avons choisis certains paramètres qui sont :

- Trois classes granulométrique (- 250 μ m + 160 μ m) ; (- 160 μ m +80 μ m) ; (-80 μ m).

- Les ouvertures du clapet : 18 et 26 mm
- Une intensité de courant constante 10 A.
- Poids du minerai à introduire pour chaque essai est : 1000g.

Les résultats obtenus sont présentés dans la partie qui suit.

III.5.1.2 Résultats Des Essais

-250µm +160µm

Tableau III.2: Résultats de séparation magnétique pour la classe granulométrique - 250µm +160µm

Séparation magnétique Classe (160µm - 250µm)					
Ouvertures	Intensité (A)	Poids des éléments magnétique en (g)	Poids des non magnétiques (g)	Perte (g)	Rendement en poids
18	10	648	349	3	65%
26	10	680	310	10	68%

-160µm +80µm

Tableau III.3: Résultats de séparation magnétique pour la classe granulométrique -160µm +80 µm

Séparation magnétique Classe (80µm-160µm)					
Ouvertures	Intensité (A)	Poids des éléments magnétique en (g)	Poids des non magnétiques (g)	Perte (g)	Rendement en poids
18	10	650	342	8	65%
26	10	670	320	10	67%

-80 μ m**Tableau III.4:** Résultats de séparation magnétique pour la classe granulométrique -80 μ m

Séparation magnétique Classe (160 μ m - 250 μ m)					
Ouvertures	Intensité (A)	Poids des éléments magnétique en (g)	Poids des non magnétiques (g)	Perte (g)	Rendement en poids
18	10	648	349	3	65%
26	10	680	310	10	68%

III.5.2 Flottation**III.5.2.1 Introduction**

La flottation est l'une des méthodes de séparation la plus répandue dans l'industrie d'enrichissement grâce aux taux de récupération élevés et la limite d'utilisation du procédé de séparation par gravité.

On va essayer dans cette partie d'enrichir le minerai de fer de Gara Djebilet en séparant l'Hématite (notre concentré) de la gangue (silice, phosphate...)

Les particules minérales doivent être suffisamment libérées de la gangue avec lesquelles elles sont associées doit subir une phase de préparation mécanique avant d'entamer la flottation. Il doit être concassé et broyé à différentes fractions granulométriques (< 250 μ m), pour pouvoir comparer et choisir la classe granulométrique favorable pour l'optimisation du procédé de flottation.

III.5.2.2 Mode opératoire

On a utilisé une cellule de flottation Figure III.7, elle doit être remplie d'eau distillée, puis on ajoute le minerai de façon à obtenir une pulpe d'environ 50% en solide. Dans notre cas, l'essai comprend 350g de minerai pour 500ml d'eau distillée.

- ✓ On pèse une quantité de 350g du minerai brut broyé, et on la met dans un récipient contenant 500ml d'eau.

- ✓ On place le récipient dans la cellule de flottation (Figure III.7), et on laisse le mélange sous une agitation pendant 10 minutes pour la formation d'une pulpe homogène.
- ✓ On ajoute au fur et à mesure le régulateur du milieu (HCL) doucement jusqu'à obtenir un PH compris entre 4 et 6 (on vérifie à chaque fois en utilisant le PH mètre).
- ✓ Une fois le PH du milieu atteint une valeur entre 6 et 4, On laisse le mélange toujours sous agitation pendant 2 minutes.
- ✓ On ajoute l'acide oléique (collecteur). Ce réactif se colle sur la surface des oxydes de fer et flotte avec la gangue à la surface après l'injection de l'air (il les rend hydrophobes). Ce processus se déroule pendant 5 minutes.
- ✓ On laisse agiter encore pendant 2 min et on ajoute le moussant huile de pin (2 à 3 gouttes)
- ✓ Après l'ajout de tous les réactifs chimique, on ouvre le bouton responsable de l'injection de l'air. En insufflant de l'air dans le mélange, nous provoquons la formation d'une mousse à la surface qui a la propriété de se mélanger aux oxydes (hématite Fe_2O_3).
- ✓ La cellule de flottation va effectuer automatiquement l'opération de raclage pendant une durée variable (un des paramètres qu'on va varier). On considère la quantité récupérer par raclage comme un concentré.

Remarque :

Pour l'utilisation du collecteur ; l'acide oléique ; qui est un acide gras (donc pas soluble dans l'eau) on a dû le mélanger à du fuel avec des quantités de 40 % pour le fuel et 60% de l'acide oléique et cela pour que son efficacité soit maximale.



Figure III.7 : Cellule de flottation



Figure III.8 : Mousse récupérée après l’essai de flottation

III.5.2.3 Essais de flottation

-250 μ m +160 μ m

Tableau III.5: Résultats de la flottation pour la classe granulométrique -250 +160 μ m

Flottation								
classe	N° d'essais	collecteur	temps	PH	concentré (g)	rejet (g)	perte (g)	Rendement
-250μm +160μm	Essai 1	3 ml	12 mn	5	6	320	25	1%
	Essai 2	2,3 ml	9 mn	4,9	3	328	18	1%
	Essai 3	1,5 ml	12 mn	5	2	327	20	1%
	Essai 4	2,3 ml	12 min	5,4	4	326	19	2%
	Essai 5	2,3 ml	5 min	5,3	9	326	22	2%

Interprétation des résultats :

Concernant cette classe granulométrique, on a remarqué un rendement poids médiocre (de l’ordre de 1%).

Donc nous pouvons dire que pour la tranche granulométrique (-250 μ m +160 μ m) les essais de flottation ne donne pas de résultats satisfaisant ou même les résultats sont inexistant.

Nous pouvons expliquer ce rendement massique médiocre par la taille des particules qui est importante et donc qui ne peut pas être flotté par les bulles d’air

-160µm +80µm

Tableau III.6 : Résultats de la flottation pour la classe granulométrique -160 +80µm

Flottation								
classe	N° d'essais	collecteur	temps	PH	concentré (g)	rejet (g)	perte (g)	Rendement
-160µm +80µm	Essai 1	3 ml	12 mn	5	22	314	14	6%
	Essai 2	2,3 ml	9 mn	4,9	16	311	23	5%
	Essai 3	1,5 ml	12 mn	5	14	249	87	4%
	Essai 4	2,3 ml	12 min	5,4	30	315	5	9%
	Essai 5	2,3 ml	5 min	5,3	10	330	10	3%

Interprétation des résultats:

Pour cette classe granulométrique, on a remarqué un rendement poids moyen. Parmi les essais qu'on a réalisé nous avons noté qu'en utilisant une quantité du collecteur de 2.3ml nous obtenons les meilleurs résultats en terme de rendement poids. Ce qui nous mène à dire que la quantité du collecteur qui nous donne le rendement de poids optimum est aux alentours de 2.3 ml.

Notons aussi qu'en variant le paramètre du temps le meilleur rendement poids est obtenu lorsque la durée de la flottation est maximale (qui est de 12 min) ce qui est logique.

Par conséquent cette classe granulométrique pourrait être la maille de libération de notre minerai.

Les résultats obtenus par la flottation de cette classe granulométrique sont montré dans la figure suivante



Figure III.9 : Différence de couleur obtenue par flottation pour la classe granulométrique (160-80 μm)

Comme illustré dans la Figure III.9, on remarque une différence de couleur assez visible entre le concentré et le rejet.

Le concentré assez rouge à gauche qui est la couleur de l'hématite

Le rejet à droite qui est d'une couleur assez sombre mais nous remarquons la présence de tache de couleur rouge qui indique encore la présence du fer.

- 80 μm

Tableau III.7 : Résultats de la flottation pour la classe granulométrique -80 μm

Flottation								
classe	N° d'essais	collecteur	temps	PH	concentré (g)	rejet (g)	perte (g)	Rendement
- 80 μm	Essai 1	3 ml	12 mn	5	39	291	20	11%
	Essai 2	2,3 ml	9 mn	4,9	74	138	138	21%
	Essai 3	1,5 ml	12 mn	5	58	200	92	17%
	Essai 4	2,3 ml	12 min	5,4	87.5	222.5	40	25%
	Essai 5	2,3 ml	5 min	5,3	28	288	34	8%

Interprétation des résultats:

Pour cette Tranche granulométrique nous avons obtenu un meilleur résultat en termes de rendement poids

Parmi les essais qu'on a réalisés nous avons remarqué la même chose concernant la quantité du collecteur utilisé (aux environs de 2.3 ml), qui nous a permis d'obtenir les meilleurs résultats en termes de rendement poids.

Les résultats de cet essai sont montrés dans la figure qui suit **Figure III.10**



Figure III.10 : Différence de couleur obtenue par flottation pour la classe granulométrique (-80 μm)

Nous notons que le concentré est de couleur très rouge contrairement à celle du rejet qui était assez sombre

Comparaison entre les résultats de la flottation

- On note que la couleur du concentré de la classe -80 μm est plus rougeâtre que celle de la classe 160-80 μm .
- On note aussi que la couleur du rejet de la classe -80 μm est plus sombre que celui de la classe 160-80 μm , et nous remarquons que ce dernier avait des taches rouges qui indiquaient toujours la présence du fer

Donc d'après cette comparaison nous pouvons conclure que la classe des -80 μm donne de meilleurs résultats pour la flottation du minerai de fer que les autres classes granulométriques.

Conclusion Générale

Pour l'industrie extractive, les techniques de traitement constituent un des principaux processus miniers. Surtout pour les gisements dont le minerai est à faible teneur en composant utile.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, en vue d'exploiter un gisement prospecté et dont les réserves exploitables sont clairement établies, le cout de traitement doit être judicieusement évalué. Dans un projet minier, le cout total d'une tonne de minerai extraite et traitée est un paramètre économique selon lequel l'exploitabilité d'un gisement peut être effective ou annulée.

Classé troisième au monde d'après ses réserves estimées à 2 milliards de tonnes avec 57% de Fer, le gisement de fer de Gara Djebilet a été découvert en 1952 à 135 Km au sud-ouest de Tindouf.

Le minerai de fer oolitique du champ de Gara Djebilet se trouve dans les anciens sédiments dévoniens du bassin de Tindouf (Sahara algérien). Trois grandes lentilles forment trois différents dépôts, se prolongeant d'Est à l'ouest sur environ 60 kilomètres, à savoir de Gara ouest, Gara centre et Gara est.

Notre travail avait pour but d'enrichir le minerai de fer par une combinaison de deux méthodes de séparation :

- Enrichissement par séparation magnétique.
- Suivi d'un enrichissement par flottation.

Une recherche bibliographique et une partie expérimentale nous ont permis de ressortir les conclusions suivantes :

- La préparation mécanique est une phase très importante pour chaque opération d'enrichissement. Dans le cas étudié le schéma de traitement commence par une fragmentation grossière du tout-venant par plusieurs stades de concassage (tout-venant ramené de la mine.). l'analyse granulométrique nous a permis de déduire que le minerai de fer de Gara Djebilet est caractérisé par une granulométrie serrée et présente un pourcentage de particules fines considérable.

- Les essais de séparation ont été effectués sur deux niveaux :
 - a) La séparation magnétique à haute intensité, avec comme variables la granulométrie, et l'ouverture du clapet. D'après les résultats de séparation magnétique obtenus, on a conclu ce qui suit :
 - ✓ Les ouvertures du clapet ont un impact sur la qualité du minerai qui résulte de la séparation, plus elle est grande plus le minerai résultant est de plus en plus riche en fer.
 - ✓ Le produit magnétique obtenu par cette méthode de séparation présente toujours des impuretés de couleur blanche (la silice, phosphate...), chose qui nous a poussés à utiliser une deuxième méthode d'enrichissement à savoir la flottation.

c) La flottation directe, étant le procédé de traitement le plus efficace du minerai de fer. La recherche bibliographique comparative des travaux réalisés sur la flottation des résultats de la séparation magnétique du minerai de fer, nous a conduit à travailler dans certaines conditions bien déterminées : PH (entre 4-6), Densité de la pulpe (50 % de minerai).

D'après les essais de flottation on déduit ce qui suit :

- ✓ L'utilisation de l'acide oléique, mélangé avec le fuel oil a prouvé son efficacité compte tenu de la couleur du concentré..., l'indisponibilité de l'alkyl sulfate nous a pas permis de faire une comparaison entre les deux collecteurs.
- ✓ La quantité optimale du collecteur utilisé est au environ 2.3 ml.
- ✓ La classe granulométrique -250 +160 μm est loin d'être la maille de libération de notre minerai compte tenue du rendement poids médiocre.
- ✓ La classe granulométrique 80 μm s'avère être la meilleure maille de libération par rapport à celle 80-160 μm qui présente toujours de l'hématite dans le rejet (couleur assez visible)
- ✓ La flottation dépend de plusieurs paramètres dont chacun peut être objet d'une recherche plus approfondie dans l'avenir.

CONCLUSION GENERALE

Nous avons tout au long de notre travail utilisé des méthodes d'approche. Dans le domaine du Génie Minier, toute simulation ou expérimentation doit impérativement être validée pour une caractérisation. Nous avons fait un travail que nous pouvons soumettre à une communication ou publication, malheureusement, faute de moyens de caractérisation, nous ne pouvons le faire.

RECOMMANDATION.

Etant encore étudiants, nous ne pouvons-nous permettre d'utiliser le terme 'Recommandation'. Nous prions l'honorable jury de prendre ce qui suit comme souhait de notre part :

Le minerai de fer de Gara Djebilet est complexe. Sa teneur en phosphore étant très élevée, ce qui le pénalise lourdement. L'apport de la biolixiviation est une fenêtre pour la réussite de sa valorisation. Nos camarades HANNACHE et CHERIFI sous la Direction de Mme DERAMCHI et de Mme BOUTRIA ont initié un projet de biolixiviation du minerai de plomb d'El Abed. La valorisation du minerai de fer par les méthodes physiques ou physico-chimiques n'étant pas suffisantes pour éliminer totalement les impuretés, il est donc souhaitable d'entreprendre d'autres études de biolixiviation pour Gara Djebilet.

Références bibliographique :

- [1] Minerais et fondantspar Jacques BLONDEAU
- [2] OULD HAMOU M., "Cours de Minéralurgie", Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2013/2014
- [3] AYADI Brahim, thèse de magister « CARACTERISATION ET CHOIX D'UN SCHEMA DE TRAITEMENT DU MINERAI CUIVRE-FER DE DOUAMIS (OUENZA) »
- [4] Ore GeologyReviews (1988), SALAH GUERRAK
- [5] Serge BOUCHARD, Traitement des minerais : méthodes physique et flottation, 2001
- [6] Pierre BLAZY, "*flottation mécanismes et réactifs*", 2000