

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique*

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

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

Génie Minier

Thème :

Les procédés d'Enrichissement et mise en tas du minerai de fer de l'Ouenza

Présenté par :

KHENKHAR Mohamed Islam

Sous la direction de Mme. MERCHICHI Amira

Présenté et soutenu publiquement le (20/06/2018)

Composition du Jury :

Président : M..OULD HAMOU Malek MCA Ecole National Polytechnique

Rapporteur : Mme.. MERCHICHI Amira MAA Ecole National Polytechnique

Examineur : M. AKKAL Rezki MCA Ecole National Polytechnique

ENP 2018

Ecole Nationale Polytechnique : 10, Avenue Hassen Badi BP182 El-Harrach 16200 Alger
Alegria

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique*

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

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

Génie Minier

Thème :

Les procédés d'Enrichissement et mise en tas du minerai de fer de l'Ouenza

Présenté par :

KHENKHAR Mohamed Islam

Sous la direction de Mme. MERCHICHI Amira

Présenté et soutenu publiquement le (20/06/2018)

Composition du Jury :

Président : M.OULD HAMOU Malek MCA Ecole National Polytechnique

Rapporteur : Mme. MERCHICHI Amira MAA Ecole National Polytechnique

Examineur : M. AKKAL Rezki MCA Ecole National Polytechnique

ENP 2018

Ecole Nationale Polytechnique : 10, Avenue Hassen Badi BP182 El-Harrach 16200 Alger
Alegria

Remerciements

Je remercie Allah, le tout puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la force pour la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier mon encadrant : Dr Merchichi Amira qui m'a apporté l'aide nécessaire, par son encouragement, sa disponibilité et sa patience qui m'ont permis d'accomplir ce travail dans de très bonnes conditions

Je remercie aussi, toute l'équipe d'ArceloMittal pour leur accueil chaleureux, de leur confiance et disponibilité.

Mes remerciements vont droit aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur et ont accepté d'examiner ce modeste travail.

Aussi, je tiens à remercier mes enseignants pour tout le savoir qui m'ont transmis

*Aussi je tiens à remercier Mr TLEMçANI Omar de m'avoir réaliser
DRX*

Enfin, Je remercie toute personne, de loin ou de près, qui a contribué à la réalisation de ce projet.

Dédicaces

A ma mère : Qui a sacrifié sa vie et son temps pour faire de moi ce que je suis maintenant.

A mon père : Une personne que je ne peux décrire son sacrifice, son courage et sa confiance.

A mes frères : Je vous remercie pour votre soutien et votre encouragement.

A mes amis : A tous ceux qui m'ont aidé et m'ont encouragé et qui étaient toujours présent pour moi.

Islam.

تلخيص

هدف الرئيسي من هذا العمل هو اختيار الطريقة المثلى لعملية معالجة و تثمين خام الحديد من منجم الوزنة. هذا الأخير يحتوي على خزائن ضخمة انه معروف من وقت الرومان منتجها الرئيسي موجود في الحجر الجيري. هذا الأخير يحتوي على خزائن ضخمة والذي يمنح الجزائر الفرصة لتصبح إحدى الدول الرائدة في إنتاج الصلب في العالم. خام الحديد يقع في جبال الوزنة ويمثل طيه محدبة في اتجاه الشمال الجنوبي و الذي تقطعه سلسلة من طيات العصر الفجري. وهو مكون اهميا من الجلوس الطباشيري القوية حيث يمكن ملاحظة تكوينات الحجر الجيري الشبه الطبيعي. يركز عملنا على طريقتين (المغناطيسية والتعويم) واستنتاج ما هي أفضل طريقة لإثراء الخام الموجود لدينا.

الكلمات المفتاحية:

الهيماتيت، الوزنة، الفصل المغناطيسي، التعويم، إثراء.

Abstract

The main objective of this work is the choice of a treatment process for the valorisation of iron ore from Ouenza; The deposit of Ouenza is one of the largest deposit in Algeria, it is known since Roman times, their main product of iron ore is hosted in the limestone Aptian. A mine whose reserves are important, and which offers Algeria the opportunity to become a leading steel producer in the world. The deposit of Ouenza is located in the Jebel of Ouenza which is a large anticline of north-east direction, crossed by a series of Eocene folds. It is essentially constituted by powerful cretaceous foundations (Sénonien and Barrémien) in which are noticed the sub-natural limestone formations Our work focuses on the use of two separation methods (magnetic separation and magnetic separation-flotation) and sees which is the best for enriching our ore.

Keywords: Hematite, Ouenza, magnetic separation, flotation, enrichment.

Résumé

L'objectif principal de ce travail est le choix d'un procédé de traitement pour la valorisation du minerai de fer de l'Ouanza ; Le gisement de l'Ouenza est l'un des plus grands gisements en Algérie, il est connu depuis l'époque romaine, leur produit principal du minerai de fer est encaissé dans les calcaires aptiens. Une mine dont les réserves sont importantes, et qui offre à l'Algérie la possibilité de devenir l'un des premiers producteurs d'acier au monde.

Le gisement de l'Ouenza se situe dans le djebel de Ouenza qui est un grand anticlinal de direction nord-est, traversé par une série de plis éocènes, il est essentiellement constitué par des assises crétacés puissantes (Sénonien et Barrémien) dans lesquelles sont remarquées les formations calcaires sub-naturels.

Notre travail porte sur l'utilisation de deux méthodes de séparation (Séparation magnétique et Séparation magnétique-flottation) et voir laquelle est la meilleure pour l'enrichissement de notre minerai.

Mots clés :

Hématite, Ouenza, séparation magnétique, flottation, enrichissement.

Sommaire

Liste des figure

Liste des tableaux

Introduction Générale.....	11
Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer.....	14
1.1 iNTRODUCTiOn	14
1.2 LESPARAMETRESGENERAUX DU MINERAI DE FER :	14
1.2.1 Principaux minéraux ferrifères:.....	15
1.2.2 Les minéraux non ferrifères:	17
1.3 PROPRIETESPHYSICO-CHIMIQUES :	17
1.4 GEOLOGIE DesGISEMENTS DE FER :	18
1.4.1 Quartzites ferrugineux :	18
1.4.2 Gisements associés :	19
1.5 utilisations et APPLICATIONS DU fer dans le monde :	21
1.5.1 Applications industrielles du fer :	21
1.5.2 Dans la construction :	21
1.5.3 Dans l’automobile:	21
1.6 PRODUCTION ET CONSOMATION MONDIALE DU FER :	22
1.6.1 Interprétation :	22
1.7 principaux pays producteurs du minerai de fer en (Mt) et l’évolution de production : 24	
1.8 Traitement du minerai de fer dans le monde :	25
1.9 MARCHÉ DU MINERAI DE FER :	26
1.9.1 Prix :	26
1.9.2 Établissement des prix :	26
1.10 PRODUCTION DE FER EN ALGERIE :	27
Chapitre 2 : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE.....	29
CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d’étude	30
2.1 INTRODUCTION :	30
2.3 Importance de la Mine:	31

ET SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE (hajar) :.....	31
2.5 PRESENTATION DU COMPLEXE :	32
2.6 Geologie du gisement de l'Ouenza :.....	34
2.6.1 Morphologie et structure du gisement :	35
2.6.2 Minéralisation :.....	36
2.6.3 Caractéristiques du minerai :.....	37
2.7 METHODES D'EXPLOITATION et d'extraction du minerai de l'Ouenza :.....	37
Chapitre 3 : Méthodologie.....	42
3.1 INTRODUCTION.....	42
3.2 PRELEVEMENT ET ÉCHANTILLONAGE :.....	42
3.5 Caractérisations minéralogiques du minerai de fer de l'Ouenza :.....	50
3.5.1 Principe :	51
3.6 Caractérisation de la Composition chimique.....	53
3.7 méthodes de traitement :.....	53
- Mode opératoire.....	55
3.7.2 La flottation	53
3.7.3 paramètres influant sur l'opération de flottation	53
Chapitre 4 : résultat et interprétation.....	66
4.1 Analyse granulométrique.....	66
4.2 résultat analyse chimique.....	68
4.3 résultat et interprétations du traitement par séparation magnétique par voie sèche ..	69
4.4 résultat et interprétations du traitement par séparation magnétique flottation	76
Conclusion Générale	80
References bibliographiques	83

<i>Figure 32 Schéma de traitement du minerai de fer par la méthode 02.....</i>	63
<i>Figure 33Echantillon à la sortie du four</i>	63
<i>Figure 34 Préparation des pastilles</i>	63
<i>Figure 35L'appareil Arlperform'xxrf.....</i>	64
<i>Figure 36 courbe granulometriue</i>	66
<i>Figure 37Analyse chimique du minerai de fer de l'Ouenza.....</i>	69
<i>Figure 38Résultats de séparation magnétique de la classe (-5+3.15)</i>	70
<i>Figure 39Résultats de séparation magnétique de la classe (-3.15+1)</i>	71
<i>Figure 40Résultats de séparation magnétique de la classe (-1+0.5)</i>	72
<i>Figure 41Résultats de séparation magnétique de la classe(-0.5+0.25)</i>	73
<i>Figure 42Résultats de séparation magnétique de la classe (-0.25+0.125)</i>	74
<i>Figure 43Résultats de séparation magnétique de la classe (-0.125+0.08)</i>	75
<i>Figure 44Résultats de séparation magnétique de la classe (<0.08).....</i>	75
<i>Figure 45 Résultats de l'influence de la quantité du collecteur</i>	77
<i>Figure 46Résultats de l'influence du rapport liquide/solide</i>	78
<i>Figure 47Procédé de flottation du minerai de fer de l'Ouenza</i>	78
<i>Figure 48 Flow sheet de traitement du minerai de fer par la méthode 02.....</i>	79

Liste des tableaux

Tableau 1	22
Tableau 2 Procédés minéralurgiques et leurs conditions et limites d'utilisation	25
<i>Tableau 3 etat des reserves de la mine de l'Ouanza(30/06/2006)</i>	<i>37</i>
Tableau 4.....	47
<i>Tableau 5 les réactifs utilisés</i>	<i>60</i>
<i>Tableau 6 resultats d'analyse granulometrique</i>	<i>66</i>
<i>Tableau 7 Calculs des coefficients</i>	<i>68</i>
<i>Tableau 8 resultats de l'analyse chimique du fer de l'Ouanza</i>	<i>68</i>
Tableau 9 Résultats et conditions des essais pour la 1 ^{ère} classe (-5+3.15).....	70
Tableau 10 Résultats et conditions des essais pour la 2 ^{ème} classe (-3.15+1).....	71
<i>Tableau 11</i> Résultats et conditions des essais pour la 3 ^{ème} classe (-1+0.5).....	<i>72</i>
Tableau 12Résultats et conditions des essais pour la 4 ^{ème} classe	72
Tableau 13Résultats et conditions des essais pour la 5 ^{ème} classe	73
Tableau 14Résultats et conditions des essais pour la 6 ^{ème} classe (-0.125+0.08).....	74
Tableau 15Résultats et conditions des essais pour la 7 ^{ème} classe (<0.08)	75
Tableau 16 Influence de la quantité du collecteur.....	76
Tableau 17 Influence du rapport liquide/solide.....	77

Introduction

Générale

Introduction général :

Le complexe minier de djebel l'Ouenza est une unité de production du minerai de fer. La principale activité de la société est la production du produit marchand de ce minerai et leurs commercialisations par chemin de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de la Wilaya de Annaba. La mine d'el Ouenza est la plus grande mine d'Algérie avec une réserve de 120 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 55% en moyenne. Ce gisement est considéré comme le principal fournisseur en minerai de fer hématitique du complexe sidérurgique d'El Hadjar.

Bien que le gisement de l'Ouenza fût depuis l'époque romaine comme le témoigne les vestiges existants (les galeries) au niveau de certains quartiers, cette exploitation concerner le cuivre, mais ce n'est que vers 1875 que le gisement de fer de l'Ouenza entre dans l'histoire, et depuis, l'intérêt pour ces gisements de fer s'est accru. Plusieurs métallotectes ayant contrôlé la distribution du minerai de fer dans l'édifice calcaire de l'Ouenza ont été signalés (Madre, 1969 ; Thibiéroz et Madre, 1976 ; Bouzenoune, 1993). Tout le minerai de fer du gîte de l'Ouena est en effet encaissé dans les calcaires aptiens.

A travers cette étude (caractérisation et choix d'une méthode de traitement et de valorisation du minerai de fer de l'Ouanza), on suggère un schéma rationnel d'enrichissement de ce minerai.

Les possibilités d'amélioration de la qualité du gisement de l'Ouenza, seraient examinées sur le plan de la faisabilité technique et de la rentabilité. Ce choix de sujet d'étude a été fait pour une série de raisons :

*Faible teneur moyenne en fer du minerai (< 50%), le met en infériorité par rapport aux matières premières disponibles sur le marché international, et donc empêche de SIDER d'atteindre des niveaux de productivité comparables à celles de ses concurrents utilisant une technologie similaire (l'aggloméré de minerai et haut fourneaux).

*Le minerai se trouve dans une région calcaire, et la forte variation en basicité complique le pilotage des hauts-fourneaux et rend leur planification de production hasardeuse.

*Le gisement est limité, et serait, au niveau actuel d'exploitation, épuisé dans une vingtaine d'année ; si l'on réussit à enrichir le minerai selon un procédé rentable, une grande quantité de

minerai dit pauvre, qui est pour l'instant considéré comme stérile pourrait être exploitée et, par cela, prolonger la vie de la mine et la sécurité d'approvisionnement de SIDER.

Dans le cadre de cette recherche, des travaux ont été menés afin d'apporter une solution à ces problèmes. Il s'agit de cerner et développer les parties suivantes :

*Les deux premiers chapitres sont consacrés à la littérature sur les minerai de fer, ainsi que la présentation de notre zone d'étude (aspect géologique, minéralisation, méthode de traitement,..)

*Le plan d'échantillonnage, la caractérisation minéralogique, l'étude des propriétés physique et physico-chimiques ainsi que les différentes méthodes de traitement du minerai de fer de l'Ouenza sont détaillés au troisième chapitre.

*Dans le dernier chapitre nous exposons les résultats et interprétations de nos essais effectués au niveau du laboratoire de Génie Minier à l'Ecole Nationale Polytechnique.

Chapitre 1 : GENERALITE SUR LES MINERAIS DE

FER.

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

1.1 INTRODUCTION

Le nom du fer vient du latin ferrum. Les plus lointaines découvertes du fer remontent à environ 4000 ans avant le début du calendrier chrétien. On retrouve ces artefacts chez les Égyptiens et les Sumériens. Le minerai de fer se compose de roches et de minéraux desquels du fer métallique peut être extrait de manière rentable. Le minerai extrait est habituellement riche en oxydes et en carbonates de fer, de couleur gris foncé, jaune éclatant, pourpre foncé ou rouille. Le fer est aussi le métal le plus recherché pour ses propriétés utilitaires, dont sa dureté, sa résistance et sa durabilité. Le minerai de fer est la matière première de la fonte de première fusion, qui est elle-même la matière première principale de l'acier.

En général, le minerai le plus riche en fer est le plus rentable. Lorsque sa teneur est supérieure à 54 %, il est considéré comme riche et ne nécessite aucune valorisation à part son calibrage. Lorsqu'elle est inférieure à 54 %, il est considéré comme pauvre et doit être valorisé pour en permettre la commercialisation[1]. Il existe deux calibres de minerai de fer à forte teneur. Le premier est de granulométrie supérieure à 8 mm, qui est appelé « minerai en morceaux », et le second, celui d'une granulométrie inférieure à 8 mm, appelé « minerai fin ».

1.2 LES PARAMETRES GENERAUX DU MINERAI DE FER :

Rare sont les métaux qui existent à l'état natif ou métallique. Le fer se trouve sous forme de minerais qui sont constitués de roches contenant des composés chimiques définis. Le fer existe sous forme d'oxyde, comme l'hématite, oxydes anhydres ou hydratés, carbonates, sulfates, de symbole chimique Fe est blanc argenté avec des reflets gris. Sa densité volumique est de 7,874 g/cm³. Le Clarke : 50 kg de fer par tonne de la croûte terrestre (soit 5 %), ce qui en fait le 4^{ème} élément présent dans l'écorce terrestre.

Sa masse atomique est de 55,845 u son rayon atomique lui est de 140 (156) pm. Cet élément fond environ à une température de 1540°C et chauffé, il bout à 2750°C. Ce métal peut être magnétique, appelé ferromagnétique, lorsqu'il est à une température ambiante, mais quand il dépasse les 790° C il perd cette propriété. Cela veut dire que les moments magnétiques des atomes s'alignent lors d'une influence d'un champ magnétique et conserve cette fonction après la disparition du champ. Cette substance pure a une dureté comprise entre 4 et 5, ce qui la rend malléable, molle et ductile. Le fer change de forme en fonction de la

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

température. A température ambiante il est un solide cristallin de structure cubique centré et à haute température, il devient cubique à face centrée. C'est-à-dire plein de petits cristaux en cube rassemblés ensemble de couleur blanche grisâtre. Quand on rajoute d'autres métaux ou d'autres matières, le fer change de propriétés physiques et devient un alliage.

Les minerais de fer en une teneur en fer variable selon le minérale ferrifère. La majeure partie du fer dans la croûte est combinée avec l'oxygène, formant des minerais d'oxyde de fer, tels que l'hématite (Fe_2O_3), la magnétite (Fe_3O_4) et la limonite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). L'oxyde magnétique ou magnétite Fe_3O_4 est connu depuis l'Antiquité grecque. Les concentrations de fer dans la nature sont très nombreuses et de tailles considérables; les formations ferrifères, dont les gisements au sens économique ne constituent qu'une petite partie, en contiennent souvent plusieurs milliards de tonnes. La plupart des gisements exploités ont une teneur en fer comprise entre 30 et 65 [2].

- minerais pauvres : $\text{Fe} \leq 30 \%$
- minerais moyens : $\text{Fe} = 30 \%$ à 50%
- minéraux magnétiques : $\text{Fe} = 50 \%$ à 67%
- minéraux d'hématite : $\text{Fe} = 30 \%$ à 45%
- minéraux de limonite : $\text{Fe} = 25 \%$ à 45%
- minéraux carbonates : $\text{Fe} = 30 \%$ à 40%

1.2.1 Principaux minéraux ferrifères:

Les minerais contenant du fer sont très nombreux, mais un nombre limité d'entre eux sont utilisés comme source de fer. Ce sont, par ordre d'importance décroissante, les oxydes et les hydroxydes, les carbonates et les silicates.

- *Fers natifs* : ils sont d'origine terrestre ou météoritique, généralement associés à du nickel.
- *Oxydes de fer* : les constituants essentiels de tous les minerais riches, que l'on caractérise souvent par le nom de l'oxyde prédominant.
- *La magnétite* : elle a pour formule chimique Fe_3O_4 (spinelle ferrimagnétique), titre 72,3 % en fer lorsqu'elle est pure, c'est le minéral de fer le plus riche en métal. C'est un minéral opaque de densité (5,15), couleur noire bleuté, éclat métallique, souvent accompagnée d'impuretés comme la silice, la chaux, l'alumine et le phosphore. Ses propriétés magnétiques sont très importantes car elles facilitent la prospection des gisements et permettent d'obtenir, à partir de minerais pauvres ou contenant des impuretés nuisibles, des concentrés de haute qualité. Par oxydation, elle se transforme généralement en oligiste (sous la forme appelée martite), en limonite, exceptionnellement en maghémite.

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

-*L'oligiste* (en Anglais : Hematite), Fe_2O_3 , elle se cristallise dans le système rhomboédrique et titre 69,9 % en fer lorsqu'elle est pure. L'oligiste peut se présenter aussi en masses compactes. C'est un minéral opaque, à éclat vif et à couleur gris acier, sa poussière est rouge et elle n'est pas fortement magnétique.

-*L'hématite* $\alpha-Fe_2O_3$, est le composant le plus important des minéraux de fer traités dans l'industrie sidérurgique. Elle comporte plusieurs types :

* l'oligiste cristallise en rhomboèdres.

* la spécularite consiste en agrégats de cristaux d'hématite à face lisse comme un miroir, l'hématite rouge ordinaire se présente en masses fibreuses, terreuses ou compactes.

* l'hématite rouge oolitique : constituant minéralogique, c'est-à-dire un agrégat de minéraux trop fins, difficilement séparés par des méthodes physiques simples. Elle est formée de petites sphères agglomérées.

* la martite est une hématite en pseudo morphose de la magnétite

-*La goethite et la lépidocrite*, orthorhombiques et de même formule $FeO(OH)$, sont deux hydroxydes de fer très voisins par leurs propriétés. La teneur en fer des limonites varie de 50 à 58 %.[3]

- *Carbonates* : Parmi les carbonates, seule la sidérose, de formule théorique $FeCO_3$, est un constituant important de certains minerais de fer. Lorsqu'elle est pure, elle contient 48,8% de fer, mais celui-ci est souvent partiellement remplacé par du magnésium, du manganèse ou du calcium, les teneurs en fer les plus courantes de la sidérose variante alors entre 40 et 45 %. C'est un minéral blanc lorsqu'il est pur, mais un début d'oxydation le colore souvent en jaune ou en brun : en effet, la sidérose s'oxyde facilement en limonite et en hématite.

-De nombreux silicates contiennent du fer, associé à du magnésium et à de l'aluminium. On les rencontre, dans certains minerais, comme minéraux accessoires. Seules, les chlorites et les lepto-chlorites sont des constituants importants de certains minerais de fer.

- *Sulfures de fer* dont les représentants principaux sont la pyrite et la pyrrhotite, ne sont jamais utilisés directement pour la production du fer à cause de l'effet fragilisant du soufre sur les alliages ferreux. Ils constituent en revanche une matière primaire importante pour la production d'anhydride sulfureux, obtenu grâce au grillage. Il reste un résidu d'oxyde de fer (« cendres de pyrite ») qui est pulvérulent et peut contenir encore des quantités gênantes de soufre : son utilisation comme minerai de fer peut donc se révéler problématique.

*La pyrite : est une espèce minérale composée de sulfure de fer, de formule FeS_2 , pouvant contenir des traces de Ni, Co, Cu, Zn, Ag et Au. La pyrite fut plus exploitée comme source de

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

soufre que de fer. Elle n'est pas utilisée comme source de fer pour la fabrication de l'acier car le coût d'extraction est supérieur par rapport à l'hématite (Fe_2O_3) ou à la magnétite (Fe_3O_4). L'extraction du fer à partir de la pyrite permet également l'obtention d'une fonte, qui doit cependant être soufflée à l'oxygène pour éliminer le soufre en solution. Les derniers procédés de biolixiviation ont permis l'extraction du chrome à partir de la pyrite [4].

1.2.2 Les minéraux non ferrifères:

Ils sont présents dans les minerais de fer. Les plus courants sont :

**Le quartz* SiO_2 , c'est le constituant non ferrifère le plus important de presque tous les minerais de fer.

**Les minéraux des argiles*, qui sont essentiellement des silicates d'alumine hydratés contenant parfois du magnésium, du calcium et des alcalins, sodium ou potassium.

**Les apatites*, de formule générale $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_2\text{PO}_4(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})$, qui apportent une grande partie du phosphore présent dans certains minerais.

**La calcite*, (carbonate de calcium) CaCO_3 , et la dolomite, carbonate double de calcium et de magnésium dans lequel le fer remplace parfois le magnésium (ankérite), sont abondantes dans la gangue de certains minerais.[5]

1.3 PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES :

La teneur en fer est évidemment la première prise en compte puisque le fer est, par définition, l'élément recherché. Elle est en particulier à la base de la distinction classique entre minerais riches et minerais pauvres nécessitant un enrichissement. Également importants sont les éléments fusibles de la gangue qui contribuent, au haut fourneau, à former le laitier : ce sont la silice SiO_2 , la chaux CaO , l'alumine Al_2O_3 et la magnésie MgO . Ils interviennent par leur masse totale et par leurs proportions respectives dans la détermination de la quantité et de la nature des additions qui seront nécessaires dans la constitution du lit de fusion.

D'autres éléments sont présents dans les minerais de fer, souvent à l'état de traces, mais parfois dans des proportions suffisantes, bien que faibles, pour influencer sur la marche des installations ou sur la qualité de la production.

Le phosphore présent dans le minerai du grand gisement de Gara Djebilet, a eu historiquement une importance considérable en conduisant au développement d'une technologie appropriée. La plupart des minerais riches disponibles actuellement sont des minerais non phosphoreux ou minerais hématites avec des teneurs en phosphore inférieures à 0,080 % [6].

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

Le soufre est éliminé en grande partie dans l'atmosphère sous forme de SO_2 (ce qui peut être à l'origine d'un problème environnemental) mais une faible quantité passe dans la fonte.

Les alcalins, potassium et sodium, ainsi que les métaux à basse température de vaporisation, en particulier le zinc, perturbent, même en très faibles quantités, la marche des hauts fourneaux.

Le manganèse, puissant désulfurant et désoxydant, peut être un élément utile si sa teneur est bien contrôlée. Parfois le titane, est élément recherché car il protège les creusets des hauts fourneaux en formant des dépôts de carbonitrides.

La plupart des autres éléments présents dans les minerais de fer, tels que le chrome, l'arsenic, le cuivre, le plomb, l'étain, le nickel, sont des éléments indésirables, tolérés seulement à l'état de traces [7].

1.4 GEOLOGIE DES GISEMENTS DE FER :

Le fer est un des constituants essentiels du noyau terrestre, c'est l'un des éléments les plus abondants de l'écorce terrestre qui en contient près de 5% , concentré en gisement, 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 sont brièvement décrits par suite :

1.4.1 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 dépôts sont tous riches en silice libre. Leur texture originelle est extrêmement fine (jaspillites), recristallisée le plus souvent en une mosaïque quartzreuse donnant des quartzites finement lités, à oligiste, à magnétite ou à martite. Les grains de quartz et d'oxydes de fer ont des dimensions variant de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres suivant l'importance du métamorphisme qu'ils ont subi. 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

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

(itabirite, iron formation, taconite, bande d'hématite, 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 peut 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. Sous leurs formes les moins altérées, les quartzites ferrugineux ont des teneurs en fer variant entre 25 et 45 %, qui rendent indispensable leur enrichissement, la finesse des grains conduisant à agglomérer en boulettes une grande partie ou la totalité de la production. 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).[8]

1.4.2 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. Le minerai est de dureté variable : parfois franchement rocheux, souvent en plaquettes friables et poreuses qui sont les vestiges du litage du quartzite originel (minerai en plaquettes, biscuit), parfois encore plus friable, poudreux, fin à très fin (bluedust de certains gisements brésiliens). Ils constituent de grandes masses à teneur en fer très élevée (65 % environ), de composition chimique simple avec surtout Fe_2O_3 et parfois un peu de magnétite résiduelle dans la martite, de la silice, de petites quantités d'alumine (1 à 2 %, localement plus), rarement plus de 0,1 %

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

de phosphore et souvent beaucoup moins. 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.

1.4.3 Minerais de ségrégation dans les roches acides :

Ces minerais sont importants par leur teneur en fer élevée, la taille importante des gisements qu'ils constituent et le rôle qu'ils jouent dans l'approvisionnement des sidérurgies du nord de l'Europe : c'est en effet à ce type que se rattachent les gisements de Laponie suédoise. 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 donnée 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). Les géologues suédois ont pu démontrer que les gisements de Laponie sont en réalité issus de formations sédimentaires d'origine chimique, consécutives à une activité volcanique sous-marine intense qui a engendré la roche encaissante.

1.4.4 Minerais de fer oolithiques :

Sont très répandus mais pratiquement plus exploités ; ils ont constitué la base des approvisionnements de plusieurs sidérurgies européennes et, en particulier, de la sidérurgie française. 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. La composition chimique reflète évidemment ces variations : les éléments les plus importants sont le fer, sous forme d'oxydes, d'hydroxydes, de carbonates et de silicates, la silice et la chaux, qui permettent d'établir la distinction entre minerais siliceux et minerais calcaires, l'alumine et le phosphore toujours présent, soit sous forme d'apatite ou dispersé dans d'autres minéraux. On distingue plusieurs types en fonction des minéraux dominants. Les minerais lorrains, les minerais de Normandie, les minerais d'Anjou furent les principaux gisements exploités en France [9].

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

1.5 UTILISATIONS ET APPLICATIONS DU FER DANS LE MONDE :

Traditionnellement, deux principaux types de produits peuvent être distingués : les plats et les longs. Les produits plats en feuilles ou en bobines comprennent les plaques, les feuillards, les tôles minces nues ou revêtues.

Les produits longs regroupent principalement les profilés lourds du type poutrelles, rails et fils. Ce sont ces produits "semi-finis" qui entreront dans le processus de fabrication de différentes industries allant du bâtiment, aux boîtes de conserves alimentaires, en passant par les composants électroniques ou les coques de certains bateaux.

1.5.1 Applications industrielles du fer :

C'est le métal le moins coûteux. Il est rarement employé à l'état pur, car il se corrode facilement. C'est également le métal le plus utile sous forme d'acier. L'acier est obtenu à partir de la fonte liquide. Cet acier carboné renferme au maximum 2 % de carbone. Il existe également l'acier allié où d'autres éléments métalliques qui sont incorporés lors de son élaboration afin d'en modifier les propriétés. Selon la teneur de l'acier en carbone, on obtient un matériau doux malléable et ductile pour des teneurs inférieures à 0,2 % de carbone, demi-dur ou extra-dur pour des teneurs plus élevées. En fonction de leur dureté, ils sont choisis comme matériaux pour outillages ou de construction. Aujourd'hui, les aciers de construction sont généralement des aciers alliés qui peuvent répondre à des sollicitations mécaniques plus élevées que les aciers carbonés. Les aciers inoxydables sont des aciers alliés contenant des pourcentages élevés de chrome et de nickel, leur assurant une bonne résistance à la corrosion.

1.5.2 Dans la construction :

Les inventions de bessemer, martin et thomas en permettant de fabriquer un acier normalisé et standardisé ont ouvert la voie à une production de masse. À partir de cette époque, l'acier a commencé à être plus généralement employé notamment dans la réalisation d'ouvrages architecturaux. Il est aujourd'hui le métal le plus utilisé dans ce secteur où il sert notamment à la réalisation d'ouvrages d'arts tels que les ponts. Même s'il n'en constitue pas le matériau de base, l'acier est presque toujours présent puisqu'il sert à armer le béton, permettant ainsi de renforcer les fondations et de le rendre plus résistant à long terme. Il permet également de fermer le squelette de certains bâtiments. La construction est le premier secteur d'utilisation de l'acier.

1.5.3 Dans l'automobile:

Le secteur de l'automobile est le deuxième marché pour l'acier. Les pièces en acier représentent de 55% à 70% du poids d'un véhicule. Au sein de cette industrie, l'acier va servir

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

à fabriquer des châssis, des pièces de carrosserie ou de moteur. Sous forme de fils, il peut entrer dans la réalisation de carcasse de pneu. Si l'acier est employé sous sa forme brute, il devra être traité contre la corrosion (application d'une couche de zinc et d'une couche de peinture, pour les carrosseries notamment). [10]

1.6 PRODUCTION ET CONSOMATION MONDIALE DU FER :

Tableau 1

Pays	2006	2007	Rang mondial
Chine	420 000	588 000	1
Brésil	281 430	318 000	2
Australie	261 855	275 042	3
Inde	140 000	160 000	4
Russie	96 764	102 000	5
Ukraine	68 570	74 000	6
États-Unis	54 300	52 700	7
Afrique du Sud	39 542	41 326	8
Canada	30 387	33 542	9
Suède	23 300	23 300	10
Venezuela	20 000	23 000	11
Iran	19 000	20 000	12
Kazakhstan	16 470	18 600	13
Mauritanie	10 752	11 155	14
Bosnie-Herzégovine	3 300	3 300	19
Égypte	2 600	2 500	20
Algérie	1 536	2 339	21
Zimbabwe	377	200	22
Total	1 527 929	1 786 644	

1.6.1 Interprétation :

1.588.000.000 tonnes de minerai de fer ont été extraites en 2010 dans le monde (1,3 milliards en 2005). La consommation de minerai de fer est restée relativement stable dans les années 1990 mais explose depuis la croissance de la sidérurgie chinoise qui produit 1/3 de l'acier mondial. [11]

**La Chine* : qui possède d'énormes réserves de minerai de fer à faible teneur, est le plus grand producteur de minerai de fer à l'échelle mondiale, avant qu'un facteur de conversion ne soit appliqué pour que la teneur en fer du minerai extrait en Chine soit mis au même niveau que celui des autres pays producteurs. Cependant, la décision du gouvernement de la Chine de ne plus subventionner l'exploitation minière a entraîné une hausse des coûts de production et un manque d'investissements requis pour exploiter les mines de manière rentable. Ceci a amené la fermeture des mines non rentables et réduit la production de minerai de fer de la

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

Chine, laquelle est en constante diminution depuis l'an 2000. En 2004, les importations de minerai de fer de la Chine provenaient surtout de l'Australie (38,4 %), du Brésil (26,7 %), de l'Inde (20,2 %) et de l'Afrique du Sud (9,2 %). Toutefois, l'Inde et le Brésil ont accaparé, en 2002, une partie du marché occupé auparavant par l'Australie. Ceci s'explique par la capacité de production limitée de l'Australie, par le fléchissement, au cours des dernières années, de la demande de minerai de fer du Brésil sur le marché européen et par la réduction des coûts de transport entre le Brésil et l'Asie, ce qui a rendu le minerai de fer à plus forte teneur du Brésil plus abordable pour les utilisateurs qui souhaitent le mélanger à leurs minerais à plus faible teneur.

**Brésil* : En 2005, la Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) a travaillé à la restructuration de ses actifs, car elle a acquis, au cours des dernières années, FertecoMineração SA, SA Mineração da Trindade (SAMITRI) et 50 % des intérêts de CAEMI. On estime que, depuis ces acquisitions, la CVRD contrôle directement ou indirectement 95 % de l'industrie brésilienne du minerai de fer. À la fin de l'année, la CVRD n'avait toujours pas fusionné Ferteco et CAEMI, ce qui lui permettrait de profiter de la synergie de l'exploitation concertée de Ferteco et de Minerações Brasileiras Reunidas (MBR) – société dont CAEMI détient 85 % des intérêts.

**Australie* La production de l'Australie : le plus grand exportateur de minerai de fer au monde s'est chiffrée à 187,2 Mt en 2005, soit une hausse de 3,4 % par rapport à 2001. Le minerai de fer de ce pays est principalement produit par Rio Tinto (47,3 %), BHP Billiton Plc (40,0 %), Mitsui & Co; Ltd. (6,0 %) et Portman Limited. (2,3 %). Le minerai de Rio Tinto provient de sa filiale exclusive Hamersley Iron Pty., Ltd. et de la Robe River Mining Co. Pty Ltd., dont Rio Tinto détient 53 % des intérêts. La production d'Hamersley a diminué de 2,5 % en 2004, et ce, malgré une forte demande en Chine et une demande importante au Japon et en Corée du Sud pour le minerai fin de la mine Yandi. Cependant, cette société a pu accroître ses ventes d'environ 4,8 % (celles-ci atteignant 68,5 Mt), en profitant des intérêts qu'elle détient dans la mine Channar (60 %) et en mettant sur le marché les réserves accumulées de ses exploitations, qui sont notamment les mines Mt. Tom Price, Paraburdoo, Marandoo, Brockman et Yandicodgina. Grâce à la mise en exploitation du gisement West Angelas en juin 2004, la production de Robe River a augmenté de 16,8 % pour atteindre 35,9 Mt et ses expéditions ont fait un bond de 13,8 % pour se situer à 35,4 Mt.

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

1.7 PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS DU MINERAI DE FER EN (MT) ET L'EVOLUTION DE PRODUCTION :

Les principaux pays producteurs de minerai de fer en (Mt) et l'évolution de production depuis 1900, sont présentés par : [12]

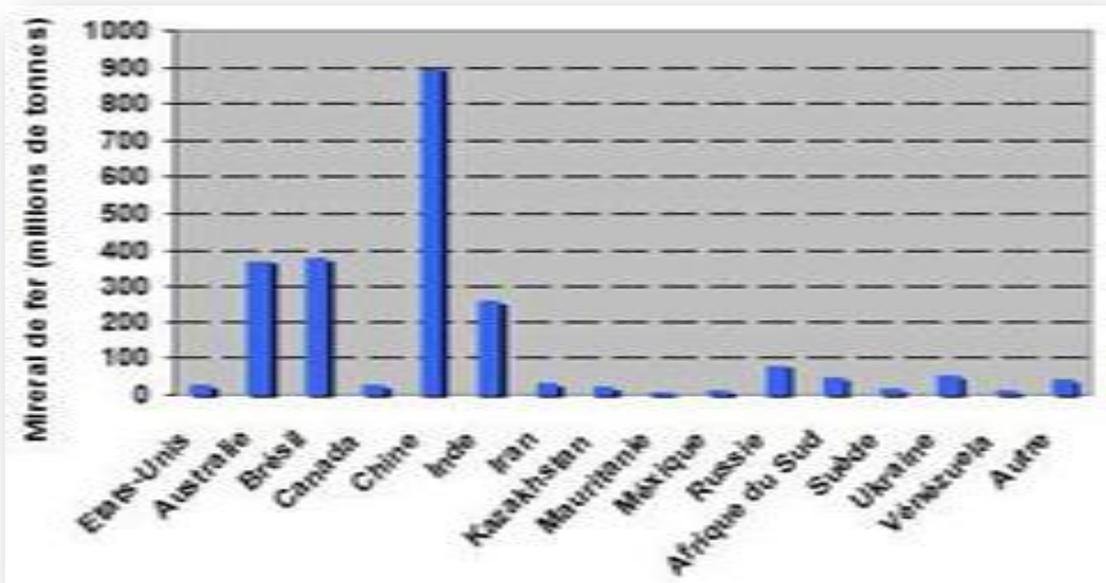


Figure 1 Principaux pays producteurs du minerai de fer



Figure 2 Production mondiale du minerai de fer depuis 1904 en MT

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

1.8 TRAITEMENT DU MINERAI DE FER DANS LE MONDE :

De tous temps les mineurs ont eu l'obligation de séparer les minerais métalliques qu'ils extraient du sous-sol, de la gangue qui les entourent. Les procédés utilisés au moyen âge puis pendant les siècles qui suivirent furent longtemps indiqués sous le nom de préparation mécanique des minerais. Mais peu à peu, et surtout à partir du début du XXe siècle, apparurent d'autres méthodes telles que la flottation qui mettent simultanément en jeu les paramètres physiques et chimiques des corps

Après avoir obtenu les dimensions voulues, on peut passer aux différentes méthodes de valorisation, et qui vont être choisies en prenant en compte les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques, du minerai à enrichir, à savoir ; la susceptibilité magnétique, la susceptibilité électrique, la masse volumique... etc. Parmi les procédés de séparation conventionnelle, on note : la séparation gravimétrique, la séparation électrique, la séparation magnétique et la flottation.

Ces méthodes ont leurs limitations (tableau 2). Chaque méthode possède un domaine de dimensions (pour les particules de minerai soumises au traitement).

Il existe une limite de discrimination dans la différence entre les propriétés des minéraux, pour chaque appareil, que l'on peut définir comme la sensibilité de la méthode. Par ailleurs, lorsque l'on essaye de faire un bilan des propriétés de minéraux qui sont effectivement utilisées pour réaliser des séparations minéralurgiques, il est clair que le nombre de ces propriétés est très faible.

Tableau 2 Procédés minéralurgiques et leurs conditions et limites d'utilisation

Procédés	Propriétés	Conditions et limites d'utilisation
Concentration gravimétrique	Différence de masse volumique entre les minéraux	<ul style="list-style-type: none">– Taille des particules supérieure à 1 μm– Différence entre les masses volumiques des matériaux à séparer supérieure à 1g/cm³– Degré élevé de libération des contaminants inorganiques
Flottation	Propriétés hydrophobes et hydrophiles des surfaces des particules	<ul style="list-style-type: none">– Taille des particules supérieure à 5 μm– Surfaces des particules à séparer démontrant des propriétés hydrophobes de façon naturelle ou stimulée (ajout de réactifs chimiques)– Degré moyen de libération des contaminants inorganiques (exempts de phases inorganiques incluses)

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

Séparation magnétique	Propriétés magnétiques des minéraux	–Contaminants métalliques présentant des propriétés ferromagnétiques (fer, magnétite) – Taille des particules supérieure à 75 µm – Degré moyen de libération des contaminants inorganiques
Séparation électrostatique	Différence de conductivité électrique entre les minéraux	–Taille des particules comprise entre 60 et 500 µm – Les matériaux à séparer doivent être parfaitement secs – Degré élevé de libération des contaminants inorganiques

1.9 MARCHÉ DU MINÉRAI DE FER :

Dans le passé, les distances avaient divisé le monde en marchés individuels des minerais de fer. Depuis quelques décennies, on assiste à l'approvisionnement des grandes sidérurgies par des minerais ayant accompli des trajets maritimes très longs. Il n'existe pas de marché formel organisé du minerai de fer et de l'acier. La formation des prix n'est en cela pas transparente, toutefois, l'usage veut que les prix soient fixés de gré à gré entre grandes sociétés internationales. [13]

1.9.1 Prix :

Bien que le prix du minerai de fer soit influencé par de nombreux facteurs subtils et variables, comme les coûts, les tarifs de fret, la qualité des produits et les taux de change, il demeure principalement tributaire de l'offre et de la demande.

Généralement, le prix du minerai de fer est d'abord négocié à huis clos entre un certain nombre d'exploitants de mines et leurs clients producteurs d'acier d'Asie et d'Europe, puis, une fois qu'un certain nombre d'ententes et de contrats annuels ont été signés, le reste des exploitants emboîtent le pas et un « prix du marché » est fixé.

1.9.2 Établissement des prix :

Il semble que la négociation annuelle d'un prix du minerai de fer avec les utilisateurs s'avère de plus en plus difficile, à mesure que l'on abandonne les contrats à long terme pour profiter du prix au comptant élevé du précieux minerai. Le développement d'un marché financier diversifié du minerai de fer permettrait aux exploitants d'usines de traitement et aux producteurs de fixer leurs prix de manière à courir moins de risques et de favoriser un équilibre entre les prix de référence et les prix au comptant, ainsi qu'entre leurs intérêts

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

respectifs, afin d'éliminer la combativité et la tension inhérentes aux négociations annuelles. Le minerai de fer est commercialisé sous plusieurs formes : les morceaux, blocs rocheux, de plus de 40 mm environ (lumps ou calibrés), les fines (0-10 mm) pour agglomération sur grille (ou sinter-feed), les boulettes (10-20 mm) ou pellets, fabriquées à partir de minerais très fins (moins de 100 mm). On estime à près de 98% la part du minerai de fer employé pour la fabrication d'acier. Ce pourcentage très élevé s'explique notamment par le caractère extrêmement polyvalent de ce métal en comparaison avec la fonte. [14]

1.10 PRODUCTION DE FER EN ALGERIE :

Le fer est l'un des principales richesses minières de l'Algérie, L'exploitation des gisements des minerais de fer a toujours eut une place prépondérante dans l'industrie extractive du pays. Les ressources nationales en matière du minerai de fer sont localisées et réparties sur six gisements dont ceux de l'Ouenza et Boukhadra situés à l'Est du pays, exploités par le groupe Arcelor-Mittal Tébessa, les réserves géologiques sont de 87 millions de tonnes avec 48 % Fe. Avec une production de 2 millions de tonnes/an, la minéralisation hématitique est encaissée dans les calcaires récifaux Aptiens. Actuellement dans la même région, le gisement de Chaabet-el-Ballout (Souk-Ahras), de réserves géologiques de 10 millions de tonnes avec 53% Fe.

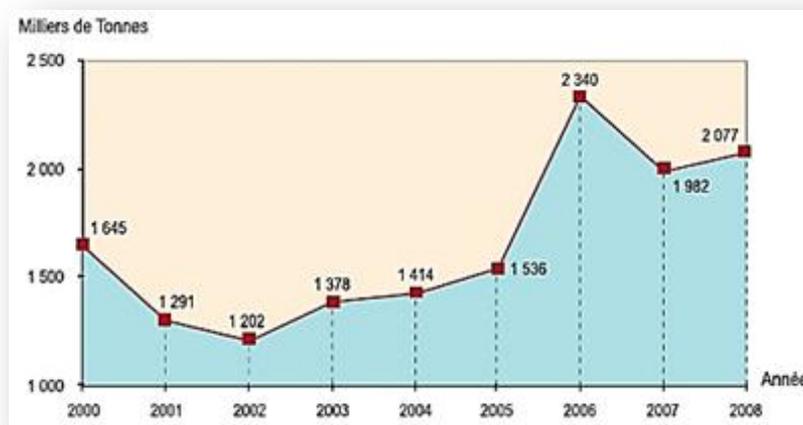


Figure 3 Evolution de la production du minerai de fer en Algérie. (BOULOT: Rapport sur l'entreprise nationale de la sidérurgie. Direction des Recherches Appliquée (D.R.A), S.N. Sidérurgie /Annaba) 41p. (1937)).

Chapitre 1 : Généralité sur les Minerais de Fer

La minéralisation ferrifère localisée au contact Calcaires-formations grés-marneuses du Crétacé, et actuellement en phase d'étude afin de relancer son exploitation. La filiale SOMIFER-spa, du groupe Ferphos à travers ses mines de Khanguet (Tébessa), Sidi Maarouf (Jijel), Djebel Anini (Sétif) avec des réserves géologiques estimées à 6,75 millions de tonnes ,55 % teneur en Fe. Le gisement de Rouina (Ain Defla) assure une production du minerai de fer représenté par de l'hématite destinée essentiellement pour la fabrication du ciment.

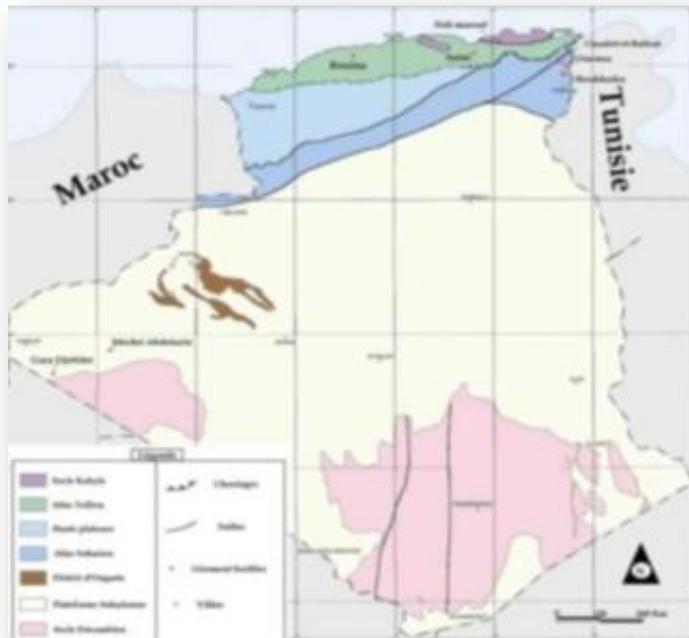


Figure 4 les principaux gisements de fer en Algérie, ORGM, 2001).

Certains autres gisements de fer de réserves plus réduites sont dans les perspectives d'une exploitation et d'autres épuisées ou en voie d'épuisement (Béni-saf). Les autres gisements non encore exploités se trouvent dans la région du sud-ouest du pays : Il s'agit de grand gisement de Gara-Djebilet : les réserves géologiques arrivent jusqu'à 2 milliards de tonnes avec 57% Fe et de minéralisation ferrifère oolithique sous forme de corps lenticulaires encaissés dans les grès du Dévonien inférieur (Praguien). Mecheri-Abdelaziz : réserves géologiques sont de 1 350 millions de tonnes avec 52% Fe, une minéralisation ferrifère oolithique localisée sous forme de lentilles dans les grès du Dévonien supérieur (Fammenien). [14]

Chapitre 2 : PRESENTATION DE LA

ZONE D'ETUDE

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

2.1 INTRODUCTION :

L'industrie moderne exige de la métallurgie, des métaux et des alliages des caractéristiques et des propriétés qui doivent répondre aux exigences toujours croissantes des techniques diverses.

L'agglomération est un processus très important dans la sidérurgie, elle permet de traiter thermiquement les minerais de fer de faible granulométrie en vue de les transformer en un matériau cohérent de plus grande granulométrie (l'aggloméré) apte à être chargé au haut-fourneau. Elle consiste à effectuer sur une grille, la combustion d'un mélange composé de fines de minerais de fer, d'additions et de combustible, constitué, en général, de fines de coke (poussier de coke) ou de charbon. La maîtrise de la marche du haut fourneau n'est possible que si la qualité d'agglomère est elle-même maîtrisée ; cela n'est atteint que par le contrôle de la qualité physique et chimique des minerais utilisés et les conditions de leur agglomération. Ce chapitre fera l'objet d'une présentation de la zone d'étude (complexe sidérurgique ARCELORMITAL).

2.2 HISTORIQUE DE LA REGION :

Le gisement de fer de l'Ouenza se trouve à une dizaine de kilomètres de la frontière algéro-tunisienne, sur le prolongement du sillon Aurès-El Kef, à 70km au Nord de Tébessa et à 150 km au Sud-Est de Annaba. Il est relié à cette dernière par une voie ferrée électrique qui sert au transport du minerai de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar. Le Gisement de fer de l'Ouenza entre dans l'histoire vers la fin du 19^{ème} Siècle avec l'exploitation du Cuivre au niveau des Quartiers Douamis et Hallatif, comme l'atteste les vestiges encore existants sous formes de puits et de galeries. En effet, c'est vers 1875 que l'ingénieur des mines « J. Tissot » signale l'importance des affleurements du minerai de fer. Le premier permis de recherche du fer du djebel Ouenza a été octroyé en 1878. Il s'en est suivi l'obtention par le prospecteur « F.R. Pascal » d'une concession minière en 1901. Ce n'est qu'aux environs de 1913 que la Société de l'Ouenza fut créée. L'exploitation de la mine a commencé au début des années vingt (1921).

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

Le début de la modernisation de la mine remonte à 1939 avec l'électrification de la voie ferrée. Après l'indépendance, la mine a connu une mutation très importante, plusieurs événements se succèdent :

- En 1966, la nationalisation des mines ;
- En 1967, début d'aménagement des installations ;
- En 1983, la restructuration de la SONAREM et la création de l'entreprise de recherche; Par contre, l'évènement le plus important est celui du partenariat avec le Groupe LNG « ISPAT » en 2001, devenu « ArcelorMittal » en 2006.[15]

2.3 IMPORTANCE DE LA MINE:

Le gisement de fer de l'Ouenza constitue la principale source d'approvisionnement en minerai de fer de la sidérurgie nationale. Les trois quarts de la consommation du complexe sidérurgique d'El Hadjar, au temps du groupe SIDER, viennent de la mine de l'Ouenza, cela en faisant abstraction de la production de la mine de Boukhadra, qui vient en second lieu. Donc il tient un rôle très important dans l'économie algérienne, de part sa contribution au développement de l'industrie lourde dans le pays et spécialement dans la Wilaya concernée.



Figure 5 la mine de l'Ouenza

ET SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE (HAJAR) :

L'entreprise nationale de sidérurgie (ENS) a été construite en 1959 par la société bônoise de sidérurgie (SBS). Avec la nationalisation du patrimoine algérien, celle-ci devient la société

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

nationale de sidérurgie (SNS). Elle renferme une section qui dirige toute l'usine : la PMA (Préparation des matières et agglomérations). En 1969, l'usine subit un essor en construisant un pôle sidérurgique à El Hadjar pouvant répondre à une variété de gamme de produits et de là elle devient SIDER. Le complexe d'El-Hadjar depuis 1969 a vu un domaine d'activités se développer au fil des années afin de répondre à la demande sans cesse croissante des produits sidérurgique, c'est une année qui marque la fin d'une époque où le souci moyen des responsables était la maîtrise de la technologie et le début d'une autre époque où le premier objet est l'amélioration des paramètres de la production.

Le début de janvier 1999, marque la suppression des sous directions et création des filiales aux membres de 24. L'année 2004 est marquée par la création de la division L.R.B (Laminoin rond à béton). En 2006, un partenariat entre les français et MITTAL a été établi pour restructurer la sidérurgie. Elle se nomme actuellement ARCELOR MITTAL [16]



Figure 6 Situation géographique du complexe

2.5 PRESENTATION DU COMPLEXE :

Le complexe sidérurgique d'El Hadjar est situé à l'Est de l'Algérie dans une zone industrielle à une quinzaine de kilomètre de la ville d'Annaba. Il occupe une surface de 800 Ha dont :

- ateliers de production qui sont repartis sur 300 Ha.
- lieux de stockage occupent près de 200 Ha de la surface.

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

- administration.

- services où les grands bureaux se partagent 200 Ha du reste.

À l'intérieur, il y a près de 60 Km de voies ferrées permettant la libre circulation des matières premières et près de 100 Km de route permettant la circulation des engins et les véhicules personnels. [17]

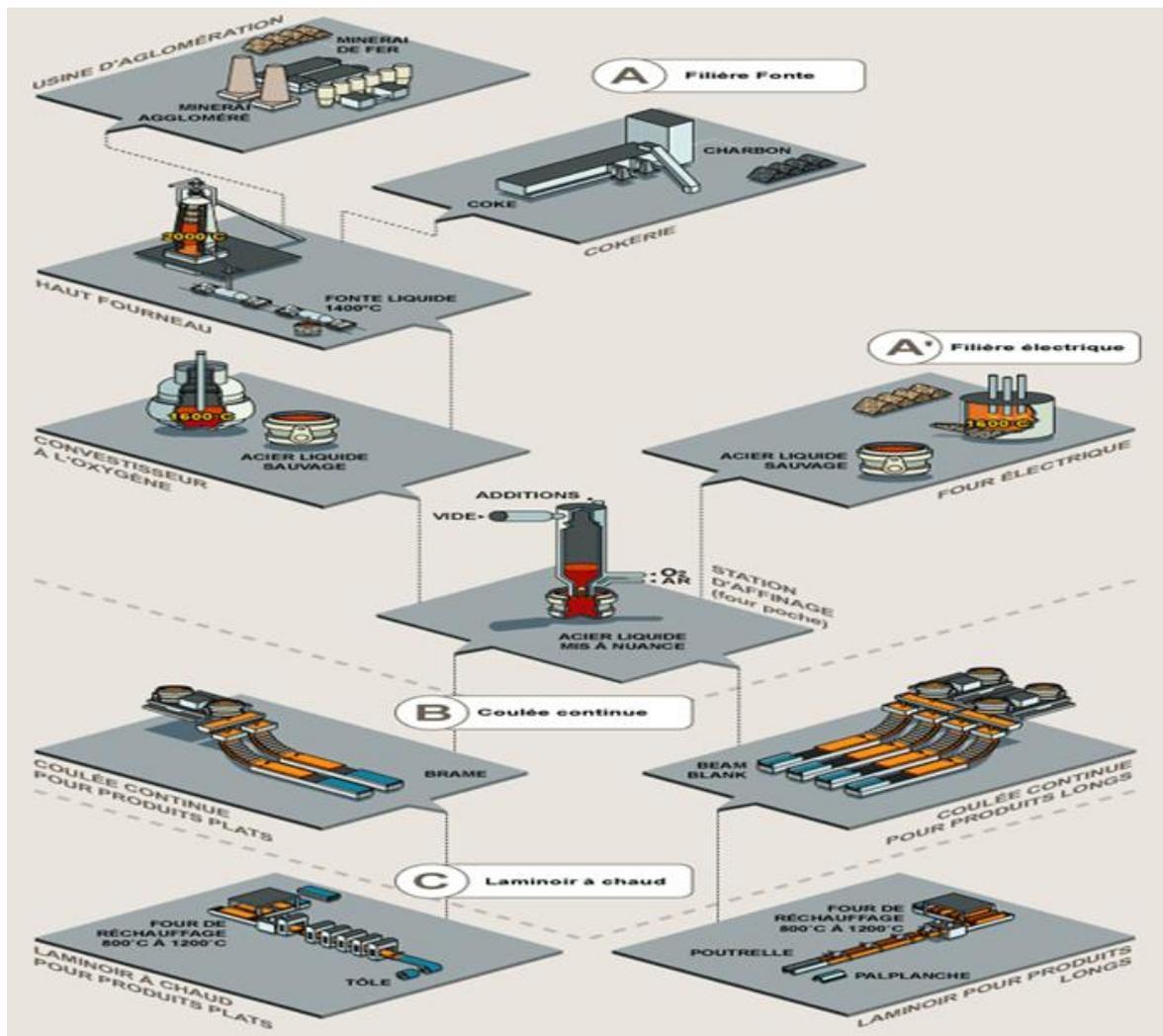


Figure 7 différentes structures du complexe d'EL Hadjar [16]

-La division PMA (Préparation des Matières et Agglomérations) est mise en service depuis l'essor de l'usine et constitue le pilier fort de la sous-direction de la MPF (Matières Premières et fonte). Elle est chargée de la manutention et du traitement des matières destinées à l'alimentation des deux hauts fourneaux pour la fabrication de la fonte. L'ensemble des installations (figure 2) regroupées dans cette division comprend :

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

**Le secteur coke et additions:* Il réceptionne, stocke, traite et achemine les combustibles et les additions nécessaires au fonctionnement des hauts fourneaux et des agglomérations. **Le secteur minier :* Le rôle est identique au précédent, le minerai est acheminé par les wagons de mines de Boukhadra et d'Ouenza à la station de déchargement.

**Le secteur agglomération :* IL comprend deux unités :

- L'agglomération N°1 mise en service en juin 1969.
- L'agglomération N°2 mise en service en mai 1980, d'une capacité de 8250 t/j.

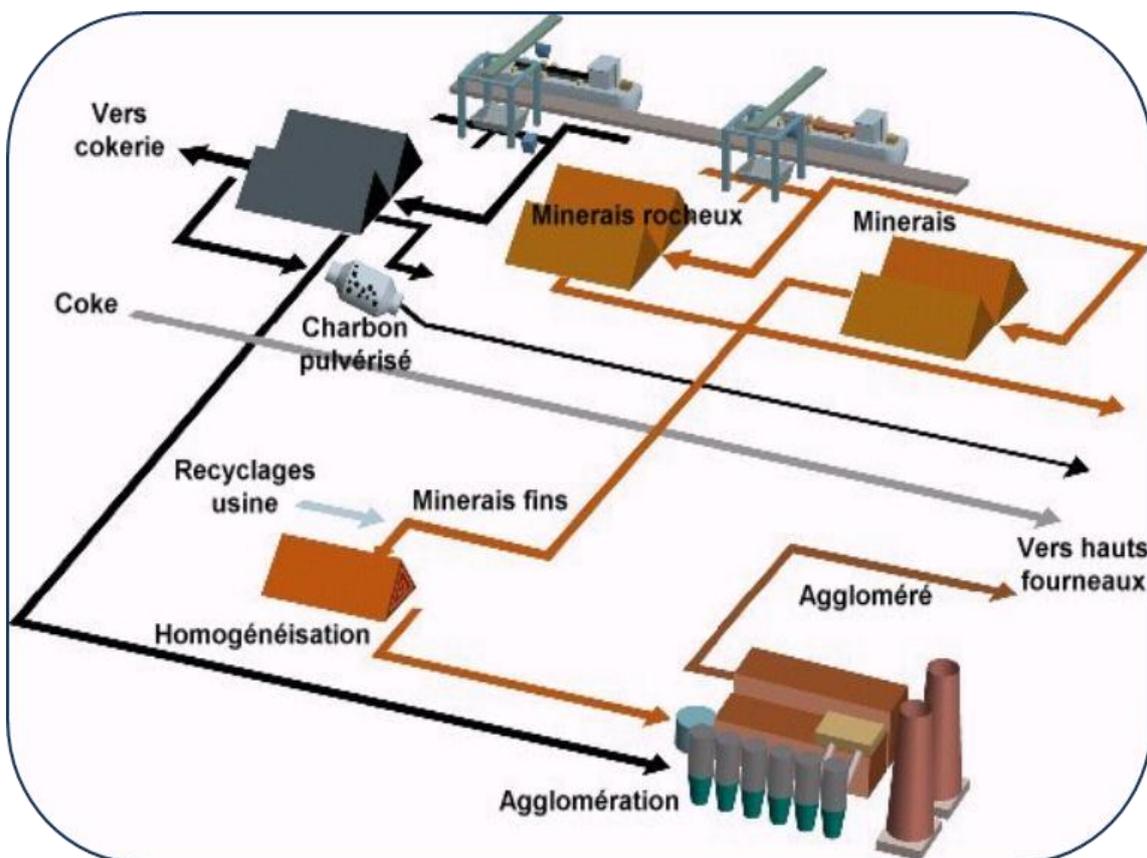


Figure 8 Division PMA

2.6 GEOLOGIE DU GISEMENT DE L'OUENZA :

Le gisement de l'Ouenza est l'un de plus grand gisement en Algérie, il est connu depuis l'époque romaine, leur produit principal de minerai de fer est encaissé dans les calcaires aptiens.

Le gisement de l'Ouenza se trouve à 70 km au nord de Tébessa. Et à 200km sud-est de Annaba et se trouve près de la frontière Algéro-Tunisienne. Le gisement de l'Ouenza est

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

Le principal pôle économique de la région et de ses environs, il contribue au développement de l'industrie lourde. Le gisement de l'Ouenza se situe dans le djebel de Ouenza qui est un grand anticlinal de direction nord-est, traversé par une série de plis éocènes, il est essentiellement constitué par des assises crétacées puissantes (sénonien et barré mien) dans lesquelles il faut remarquer les formations calcaires Sub-naturels, correspondant à des plaines d'effondrements récents, s'alignent selon une direction perpendiculaire à celle des plis (Sud-ouest, Nord-est) fossé de Tébessa-marssott fossé des Ouled Bourhanem.[18]

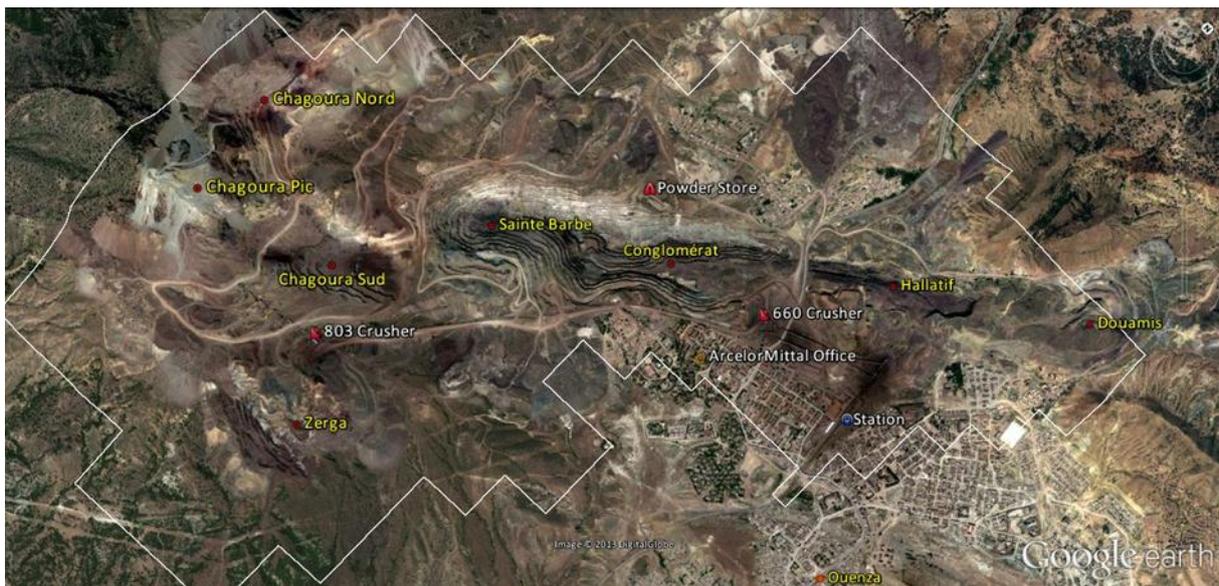


Figure 9 Situation géographique de la mine de l'Ouenza.

2.6.1 Morphologie et structure du gisement :

Le gisement de l'Ouenza se situe dans le Djebel Ouenza qui est un grand anticlinal (figure I.6) de direction SW-NE. Si l'on s'éloigne de la partie périclinale SW qui se présente d'une manière spectaculaire pour aller vers le NE, on remarque la masse énorme des calcaires récifaux de l'aptien qui forme l'ossature de la montagne.

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

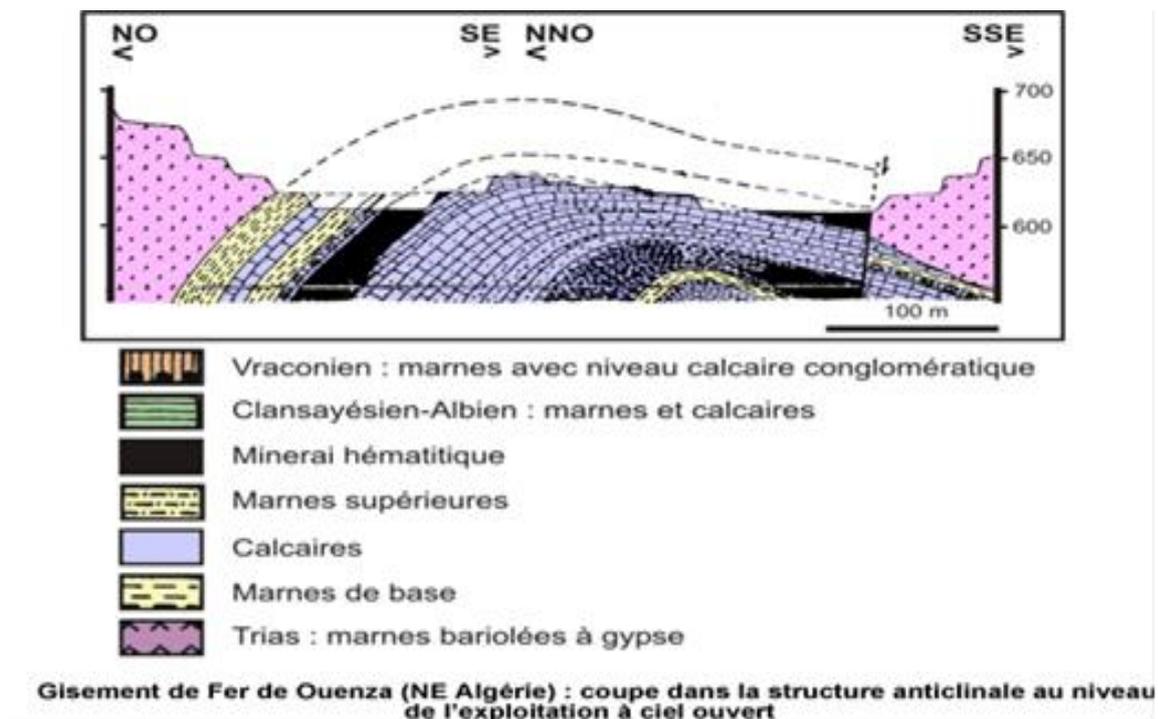


Figure 10 Morphologie de la mine de l'Ouenza

2.6.2 Minéralisation :

La minéralisation se présente sous forme de filons-couches substructure où la confusion de leurs sommets leur donne un aspect de champignons à plusieurs pieds. La plus grande variation morphologique se rencontre dans les sommets ou les nids, lentilles, filons couches, et autres amas s'enchevêtrent parfois en un chaos indescriptible. Au quartier Zerga, la minéralisation se présente sous forme d'amas bien circonscrits. Les minerais sont constitués essentiellement d'hématite qui résulte de l'oxydation des amas de sidérose et de pyrite. Le carbonate provient lui-même de la métasomathose des calcaires récifaux de l'aptien par des venues minéralisantes sulfureuses. Les hydroxydes de fer sont le résultat de la désagrégation de l'hématite. [19]

L'hématite exploitée se présente soit sous forme pulvérulente de couleur noire rougeâtre, soit en masse terne sans cristaux apparents ou encore en masses homogènes mais laissant apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté. Une série intermédiaire entre le minerai primaire et celui secondaire constitue une part importante dans les réserves de la mine. Outre, le minerai de fer, il faut signaler une faible présence de minéralisation poly métallique (Pb, Cu), le long de la faille du pic.

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

2.6.3 Caractéristiques du minerai :

Le minerai de fer exploité dans la mine de l'Ouenza est principalement composé d'hématite, on rencontre aussi la sidérose, la gothite, la malachite, la baryte, la galène et la limonite. Le minerai de fer exploité est considéré comme un minerai ayant une teneur comprise entre 36% et 45%. [20]

2.6.4 Prospection et état des réserves

Le gisement de l'Ouenza a été prospecté principalement par des ouvrages miniers et sondages (verticaux, inclinés et horizontaux) selon un réseau de maille allant de (50x50m) et peut être réduit jusqu'au (25x25m). Les résultats des travaux de prospection ont permis d'évaluer les réserves géologiques et exploitables par catégorie au tableau 3 comme suit :

Tableau 3 état des réserves de la mine de l'Ouanza(30/06/2006)

Mine	Quartiers	Tonnage		Taux de découverte
		Minerai	Stériles	
MINE DE O U E N Z A	Chagoura Sud	6922000	16285511	2.35
	Chagoura Pic	6637049	27046665	4.08
	Chagoura Nord	10608597	26645240	2.51
	Ste Barbe	5267936	21216761	4.03
	Conglomérat	376686	1779731	4.72
	Douamis	8516889	/	/
	Zerga	2649394	3423281	1.29
Sous Total		40978551	96397189	2.96

2.7 METHODES D'EXPLOITATION ET D'EXTRACTION DU MINERAI DE L'OUENZA :

Pour les gisements à relief montagneux tel que le gisement de l'Ouenza, le mode d'exploitation appliqué est par fonçage avec un seul bord exploitable, le contour de la mine n'étant pas fermé. L'exploitation de tels gisements, disposés sur un flanc de coteau de pente 35°, se fait de haut en bas. L'extraction du minerai est réalisée par gradin de 13 à 15 m de

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

hauteur, un angle du talus de 75 à 80° et une largeur des bermes de 7 à 12 m. Le programme d'exploitation est fondé sur une production de 1,8 à 2 millions t/an avec un taux de découverte de 2,96. Selon le projet d'exploitation, la fosse finale aura une profondeur de 620 m, l'angle du bord inexploitable de la mine est de 32°.

L'exploitation du minerai et du stérile se fait par les tirs d'abattage par explosifs, après la préparation des trous de mine par forage des trous généralement verticaux de 160 mm de diamètre par des sondeuses de type INGERSOL RAND et ATLAS COPCO et leur chargement par des explosifs, dont le but est de fragmenter la masse rocheuse afin de permettre son évacuation [20]

Le choix de la méthode d'exploitation dépend de plusieurs facteurs :

-caractéristiques géologiques du gisement.

-production planifiée de carrière.

-Nombre et puissance des engins.

-Mode d'ouverture du gisement.

-L'allure du gisement et propriétés physico-mécaniques du minerai et des roches à évacuer.

Les matériaux fragmentés sont chargés par des excavateurs à commande mécanique (P&H) ou hydraulique (KOMATSU) de 5 à 6 m³ et sont ensuite transportés par des camions (dumpers) (CATERPILLAR) de 40 et 50 tonnes. Le minerai est conduit soit vers le stock à proximité du concasseur, ou vers le concasseur giratoire qui peut traiter des blocs de dimensions arrivent à (1000mm). Les blocs de minerai envoyés au concasseur ont une taille nettement inférieure à la limite demandée pour le concasseur, car il y a un tri au niveau du chantier. Les blocs hors gabarits sont mis de côté pour subir un débitage secondaire. Très souvent, on fait appel au tir de relevage pour pallier la mise au point du tir par mines profondes verticales. Dans certains cas, cette pratique devient complémentaire et systématique par le tir simultané de mines de relevage avec des mines profondes verticales. Le but de cette méthode de tir est la suppression du pied qui peut subsister à la base du front après le chargement des produits. Le minerai concassé est acheminé par une série de convoyeurs (2380 km) vers les stocks ou les deux trémies, d'où son expédition par trains (voie ferrée électrifiée/150km) vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar [21].

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude



Figure 11 camion CATERPILLAR type7 et wagons



Figure 12 convoyeur à bonde

Du lieu d'extraction, le minerai passe par les étapes suivantes :

- 1) Extraction du minerai à ciel ouvert par abattage à l'explosif.
- 2) Chargement par pelle sur camions.
- 3) Alimentation par camion jusqu'à la station de concassage.
- 4) Criblage et concassage.

Le traitement mécanique consiste à la réduction des dimensions du bloc afin d'obtenir une granulométrie favorable au transport.



Figure 13 Concasseur à cône

CHAPITRE 2 : Présentation de la zone d'étude

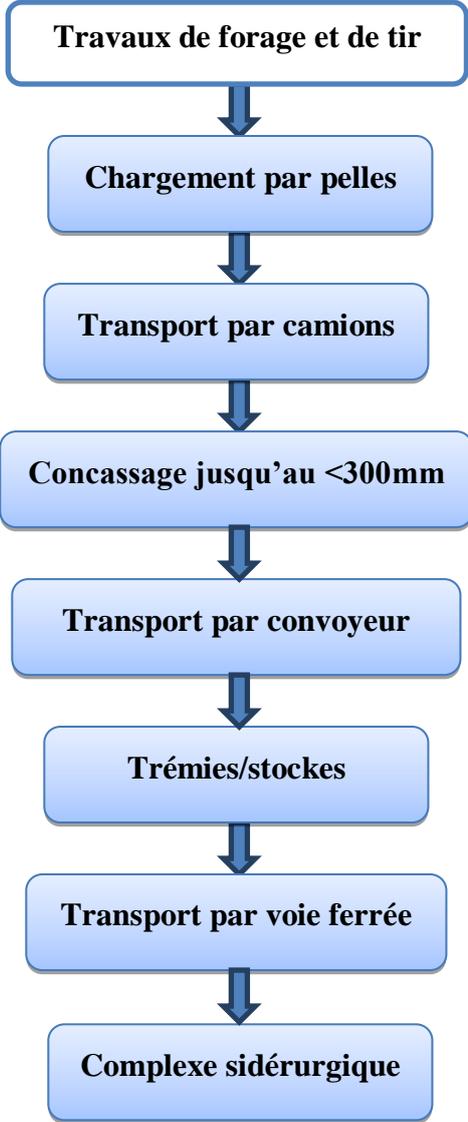


Figure 14 Schéma technologique d'extraction et de préparation du minerai de fer de l'Ouenza

Chapitre 3 : METHODOLOGIE

Chapitre 3 : Méthodologie

Chapitre 3 : Méthodologie

3.1 INTRODUCTION

Le premier critère d'une classification des minerais de fer en vue de leur préparation se rapporte logiquement au principal minéral ferrifère contenu dans le minerai.

Pour un minerai destiné à l'enrichissement, il est nécessaire de faire un bilan suffisamment précis des espèces minéralogiques. Ce qui permet d'orienter le choix des méthodes de traitement. Pratiquement, ces méthodes sont fondées sur la différence entre les propriétés physiques et physico-chimiques des minéraux présents. Les propriétés les plus utilisées pour le traitement du minerai de fer, on peut citer : le poids volumique, les propriétés magnétiques et les caractéristiques de la surface du minéral.

Le choix final du procédé de concentration optimale est déterminé par la combinaison de toutes les caractéristiques du minerai telles que : composition minéralogique, distribution des minéraux, granulométrie, etc.....

Afin d'enrichir le minerai du fer de l'Ouanza, nous avons effectué les étapes suivantes :

3.2 PRELEVEMENT ET ÉCHANTILLONNAGE :

3.2.1 Échantillonnage :

L'échantillonnage constitue une étape cruciale dans le processus de caractérisation d'une matière naturelle qui peut être en différents aspects dans la nature, dont les minerais représentent les sources les plus utilisées dans l'industrie, ce qui nécessite de disposer d'une information la plus fiable possible sur le minerai à étudier. Le but visé est d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflète toutes les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques de l'ensemble du site étudié.

Le but de l'échantillonnage est de permettre l'estimation la plus fiable de la valeur inconnue et inaccessible d'une propriété d'un lot à partir d'un essai effectué sur un échantillon représentatif. [18]

Les principales étapes qui caractérisent une démarche d'échantillonnage sont : l'élaboration d'une stratégie de prélèvement, le prélèvement des échantillons sur le site, la conservation des

Chapitre 3 : Méthodologie

échantillons et leur préparation pour les fins d'analyses. La valeur des résultats de la caractérisation dépend de la réalisation adéquate de toutes ces étapes.

3.2.2 Préparation mécanique au niveau de l'Hadjar (sider) :

Le minerai de fer acheminé des mines de l'Ouenza, sous la coupe de la société nationale du fer et de phosphate (FERFHOS) par voie ferrée vers le complexe sidérurgique d'El-Hadjar, le transport est assuré par la société nationale des chemins de fer (SNTF) dans des wagons. Ces derniers une fois arrivés au complexe, passant automatiquement par une balance électronique pour le pesage, le contrôle de la granulométrie et la de qualité...etc.

La rame du minerai de fer se dirige ensuite vers le déchargement, une rame est composée en général de 26 wagons, Arcelor Mittal reçoit en moyenne 6 rames/24 h. Une équipe de deux personnes est chargée d'ouvrir la rame, le cycle commence. Le minerai de granulométrie 0-300mm tombe dans les silos 201 à 208 se trouvent au sous-sol, passe par les extracteurs au nombre de (8+).

Le minerai est stocké dans le tas Nord-Sud (0-300mm). La granulométrie finale du produit est de 10 mm.[19]



Figure 15 Broyeur

On trouve sur les transporteurs des détecteurs de métaux DET201, 202 afin d'éviter le passage de la ferraille ou de tout objets métalliques étranges, provoquant des dégâts dans les cribles ou des broyeurs.

Chapitre 3 : Méthodologie

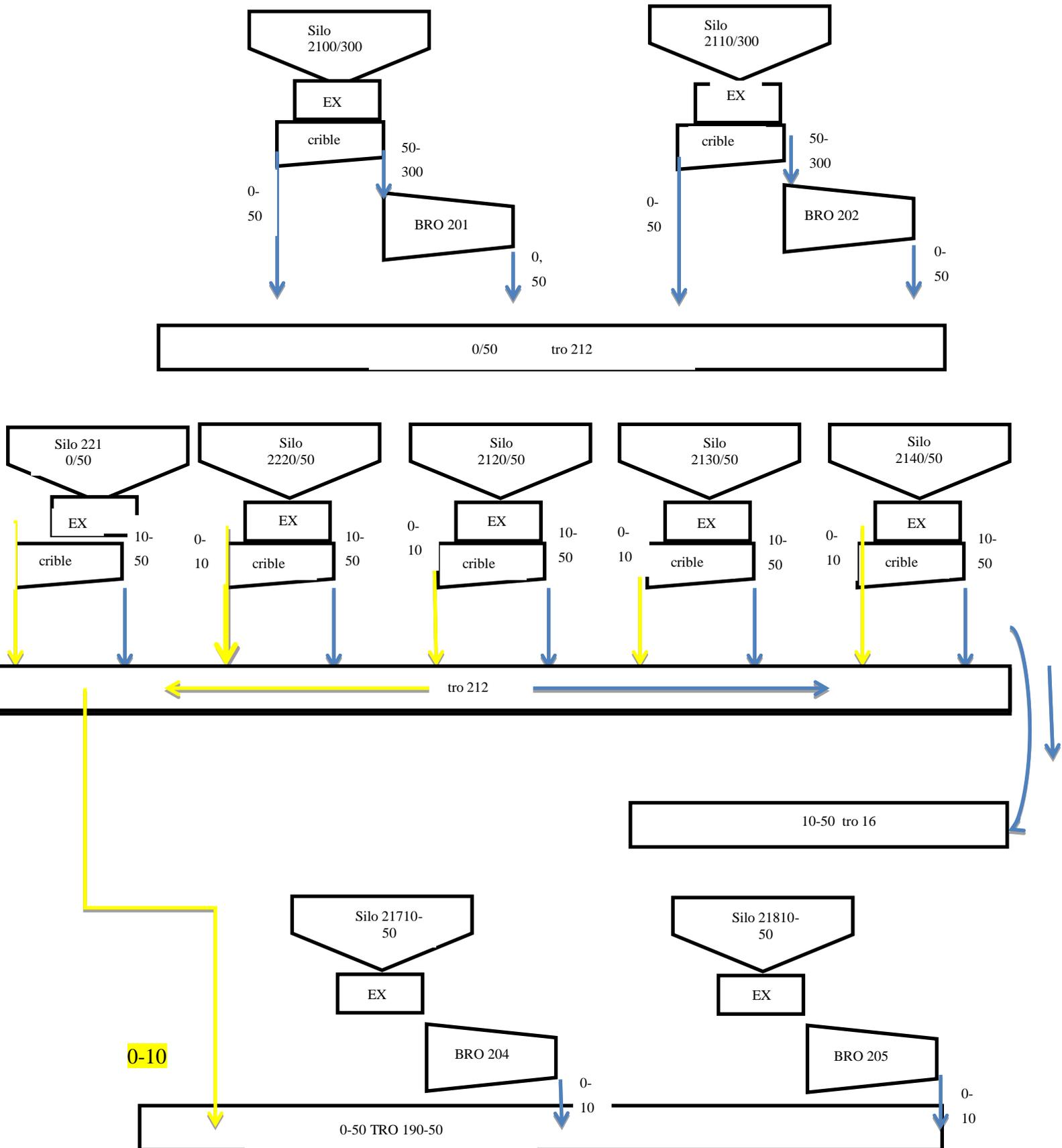


Figure 16 schéma de broyage au sein de l'Hadjar

Chapitre 3 : Méthodologie

3.2.3 Prélèvement :

Entamer notre étude, nos prélèvements sont effectués soigneusement au niveau des stocks du minerai provenant du gisement de l'Ouenza au niveau de service de la PMA (préparation de la matière agglomérée) de l'usine sidérurgique d'El-Hadjar.

Le tout venant ayant des dimensions différentes subit un traitement mécanique préalable : un concassage, un broyage, une homogénéisation, afin d'obtenir un échantillon représentatif de masse de 15kg.

3.2.4 Préparation des échantillons :

Les échantillons préalablement homogénéisés sont broyés par un broyeur à boulets. Le produit issu du broyage est d'une granulométrie de (<2mm).



Figure 17 Broyeur à boulets

Le produit de broyage suit une série d'opérations d'homogénéisation et de quartage effectuée soigneusement pour éviter toute sorte d'erreurs systématiques, et afin d'avoir un échantillon plus représentatif qui fera l'objet d'une analyse granulo-chimique et autres tests de séparation minéralurgique.

Chapitre 3 : Méthodologie

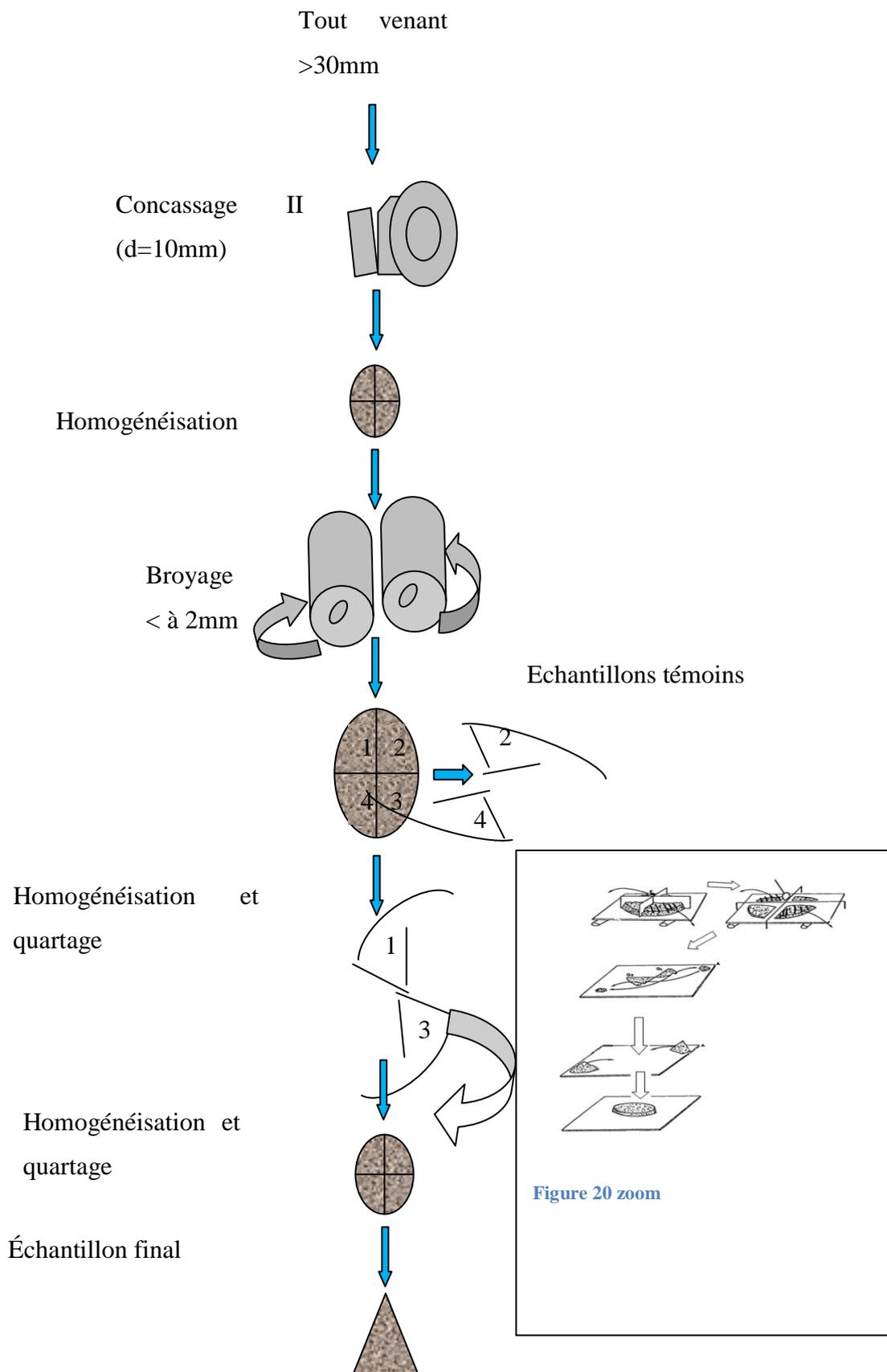


Figure 19 Schéma de préparation mécanique des échantillons pour analyses granulométriques et chimiques

Chapitre 3 : Méthodologie

3.3 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DU MINÉRAI DE FER DE L'OUANZA :

Dans notre travail, l'identification des propriétés physiques du minerai a une grande importance, car ces dernières nous serviront par la suite à expliquer certains de leurs comportements. La totalité de ces propriétés physiques et physico-chimiques ont été mesurées au niveau du laboratoire de Génie Minier de l'École Nationale Polytechnique.

Les principaux essais sont :

3.4.1 Détermination de l'humidité résiduelle, norme AFNOR NF X 31-102 (1992) :

L'humidité résiduelle est définie comme la masse perdue après un séchage à l'étuve à 105°C d'un échantillon dont la masse est constante. Sa mesure permet de déterminer la masse sèche d'un échantillon du sol. L'humidité résiduelle H est exprimée en pourcentage massiques elle est calculée par la relation suivante:

$$H(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_0} 100$$

m_0 : La masse initiale d'échantillon humide,

m_1 : La masse finale, après séchage à 105°C pendant 24 heures et refroidissement.

Tableau 4

Les essais	Masse initiale m_0	Masse finale m_1	H%
Essai 1	30.51 g	29.40	3.64
Essai 2	30.28 g	29.35	3.07
Essai 3	30.31 g	29.38	3.06

On déduit de ce tableau que l'état d'humidité des différents échantillons varie de 3.06 % à 3.64 %. En comparant les résultats, le 2ème échantillon montre le taux d'humidité le plus faible avec une valeur de 3.06 %

3.4.2 Poids volumique (norme NF P 94-054) :

Le poids volumique du solide est défini comme le rapport de son poids sur son volume. Il a été déterminé par la méthode pycnométrique qui consiste à combler les interstices du sol par de l'eau.

- Matériels utilisés :

-étuve

-balance

-pipette

-un pycnomètre

Chapitre 3 : Méthodologie

- Mode opératoire :

- Peser le pycnomètre vide : masse m_1 .
- Prendre environ 10 grammes du minéral.
- Verser environ 10 g du minéral préalablement séché dans le pycnomètre.
- Peser de nouveau le pycnomètre : masse m_2 .
- Remplir le pycnomètre à moitié avec de l'eau distillée et placer le tout sur la plaque chauffante et laisser chauffer (pour dégager les bulles d'air).
- Arrêter le chauffage quand l'eau est portée à ébullition.
- Laisser refroidir.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 50 ml et peser de nouveau le pycnomètre: masse m_3 .
- Vider le pycnomètre, le nettoyer et le sécher.
- Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 50 ml et peser de nouveau le pycnomètre : masse m_4 .

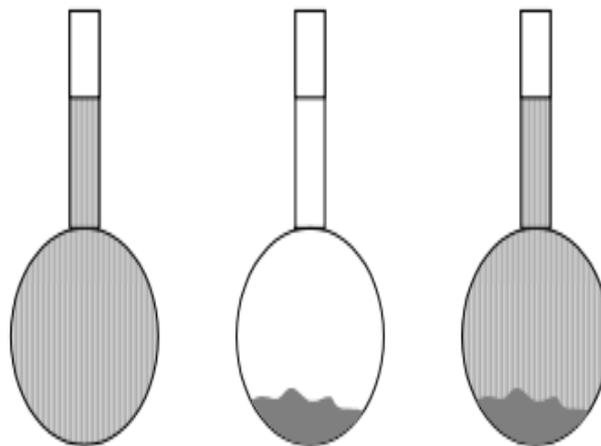


Figure 21 pycnometre

m_2

m_3

m_4

*calcul

-La densité des grains solides du sol est donnée directement par la formule

$$d = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 + m_2} = 5.15$$

3.4.3Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique joue un rôle très important pour la matière à adapter aux traitements de séparation. Elle doit également conduire à une libération suffisante des divers minéraux pour permettre leur séparation. L'analyse granulométrique a pour but de déterminer quantitativement la distribution des particules par classes de diamètres et de

Chapitre 3 : Méthodologie

fournir des fractions granulométriques pour les caractérisations prévues dans les étapes suivantes (granulo-chimie, minéralogie,...). La taille des particules a une influence sur de nombreuses caractéristiques du sol (surface spécifique, perméabilité...). Le nombre et la grandeur des classes de diamètres dépendront de l'objectif à suivre et, éventuellement, de l'importance de l'échantillon dont on dispose.

3.4.4 Principe :

L'analyse granulométrique consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le minerai étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par le mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, de la colonne de tamis à l'aide d'une tamiseuse de Type Retsch.



Figure 22 tamiseuse de Type Retsch

3.4.5 Description de l'essai

On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. Dans la partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fines. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'éviter toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné, et refus le poids du matériau retenu par ce même tamis.

Le tamisage a été réalisé par voie sèche à l'aide d'une tamiseuse électrique de type Retsch AS 200, où l'échantillon étudié est versé en haut de la colonne de tamis, Cette dernière entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais il dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture. Pour notre essai, le temps est fixé à 18 minutes.

Chapitre 3 : Méthodologie

3.4.6 Le choix des tamis :

Le choix des tamis dépend de la relation suivante :

$$D_{inf} = D_{sup}/\sqrt{2}$$

Tel que :

D_{sup} = le diamètre du premier tamis

D_{inf} = le diamètre du tamis suivant

En théorie, le tamis supérieur est choisi de telle sorte que le refus ne doit pas dépasser les cinq pour cent (5%) de l'alimentation.

Note : le pas (module) 1.414 ($\sqrt{2}$), ne peut être respecté, puisque nous ne disposons pas de tous les tamis au laboratoire. À cette restriction, nous étions dans l'obligation de sélectionner les tamis les plus proches.

Le premier tamis a une ouverture de 3.15 mm, et donc la série des tamis qu'on utilisera sera dans ce cas : (5mm ; 4mm ; 3.15mm ; 2mm ; 1.6mm ; 1mm ; 800mm ; 500mm ; 400mm ; 250mm ; 160mm ; 125mm ; 80mm ; 40mm) d'ouverture.

Les résultats et l'interprétation seront explicités dans le dernier chapitre.

3.5 CARACTERISATIONS MINERALOGIQUES DU MINERAI DE FER DE L'OUENZA :

L'étude minéralogique a pour but la détermination des différentes espèces minérales constituant le minerai. L'étude de leurs évolutions dans le temps et dans l'espace constitue la principale préoccupation de cette étude. Elle permet de :

- Reconnaître les minéraux (leur nature et leur composition);
- Déterminer les proportions relatives des minéraux ;
- La forme et les dimensions des grains ;
- La structure des minéraux ;

Cette étude nous permet donc l'orientation de la recherche et de la technique d'enrichissement.

Analyse diffractométrique (DRX) :

L'analyse diffractométrique permet de confirmer l'identification minéralogique réalisée au microscope et de préciser la nature des minéraux.

Chapitre 3 : Méthodologie

3.5.1 Principe :

Pour la diffraction des rayons X, les échantillons sont analysés sous forme de poudre très fine. Cette technique est largement utilisée pour l'identification des minéraux.

Tout corps cristallisé peut être analysé par la diffraction X. Ces derniers sont des ondes électromagnétiques situées entre les domaines des ultraviolets lointains et de rayon γ (longueur d'onde entre 100 et 0.5°A). Ces rayons sont produits par bombardement électronique sous vide et sous haute tension d'accélération d'une cible. Cela a pour conséquences la production d'un spectre continu sur lequel se détachent les raies caractéristiques de la cible, la figure III.3 illustre un schéma représentatif de cette analyse.

Le faisceau émis est diffracté sur le réseau de plan cristallin des échantillons, selon la loi de Bragg motionnée dans la relation.

$$\lambda n = 2 d \sin\theta$$

n : ordre de la diffraction (entier) ;

λ : est la longueur d'onde de la source ;

θ : l'angle entre le faisceau incident et le réseau de plans ;

d : l'espace inter réticulaire entre deux plans parallèles successifs du réseau cristallin.

Il est à noter que les diffractogrammes sont traités avec les logiciels de X Pert PRO MRD Système overview.

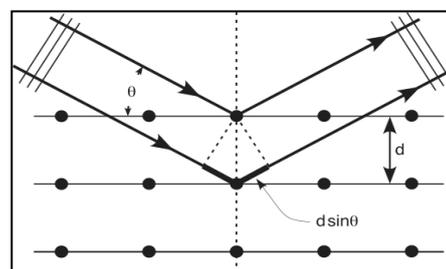


Figure 23 Principe de diffraction des rayons X

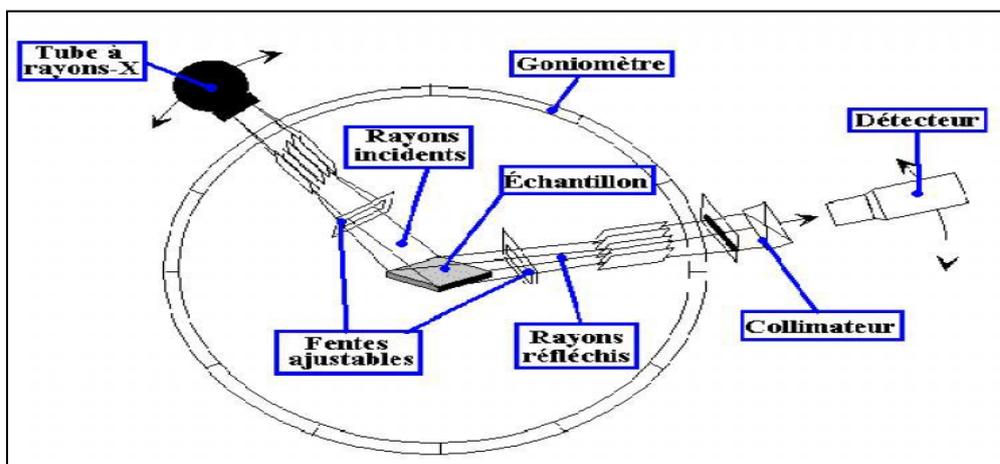


Figure 24 Schéma du principe d'un spectromètre de diffraction des rayons

Chapitre 3 : Méthodologie

3.7 METHODES DE TRAITEMENT :

Malgré la baisse actuelle que connaît le marché de l'acier dans le monde, ce matériau demeure indispensable dans les domaines de la construction métallique et de la construction mécanique. Cette indispensabilité implique la nécessité de continuer à exploiter le minerai de fer puisque le fer est le constituant majoritaire de cet alliage. Le minerai brut extrait de la mine subit plusieurs processus de préparation mécanique (concassage, broyage, etc.) et de concentration pour produire un concentré de valeur économique. La concentration des minéraux de valeur du minerai de fer peut se faire de différentes façons. Certaines usines utilisent une séparation magnétique, mais la plupart d'entre elles utilisent des procédés qui exploitent la différence de masse volumique entre le minéral de valeur et la gangue ou les propriétés de surface du minéral. L'enrichissement du tout-venant, réalisé dans une usine de traitement, a pour but d'augmenter la teneur en minéral de valeur et d'éliminer la gangue.

Les différentes méthodes utilisées dans notre projet :

- séparation magnétique par voie sèche.
- séparation par séparation magnétique-flottation.[23]

Variante 01 : Traitement par séparation magnétique par voie sèche

3.7.1 Procédé de séparation magnétique :

La séparation magnétique exploite les propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique. Quel que soit le procédé adopté, le but est de produire à partir des minerais de faibles teneurs, des concentrés de teneurs plus élevées ; mais la séparation magnétique est la technique la plus utilisée et la plus développée dans le traitement du minerai de fer. Les procédés d'enrichissement comme ils sont décrits auparavant, sont basés principalement sur les propriétés spécifiques des minéraux (forme, densité, susceptibilité magnétique, propriétés de surface, etc.) et ce dans le but de produire des concentrés riches en métal. L'enrichissement par séparation magnétique a été effectué au niveau du laboratoire minéralurgique du département de génie minier à l'école nationale polytechnique.[25]

Chapitre 3 : Méthodologie



Figure 26 Séparateur magnétique

-Principe :

La séparation magnétique est accomplie par entraînement des matériaux susceptibles lors de leur passage à travers un champ magnétique. Ce dernier peut être produit à l'aide d'un aimant permanent ou d'un électroaimant. L'utilisation des électroaimants permet d'ajuster l'intensité du champ magnétique en variant l'intensité du courant électrique. Le champ magnétique produit par les électroaimants peut atteindre une intensité plus élevée que l'intensité d'un champ engendré par des aimants permanents.

La grosseur et la masse volumique des particules à séparer influencent le traitement. La séparation de grosses particules denses requiert un champ magnétique plus intense que la séparation des petites particules légères.

Il est à noter que l'efficacité du procédé dépend du degré de libération ou de la pureté des matériaux à séparer.

Il existe deux catégories d'équipements de séparation magnétique :

- Les séparateurs à haute intensité ;
- Les séparateurs à basse intensité ;

Chaque catégorie peut être divisée en deux, soit les séparateurs humides et les séparateurs à sec.[32]

Les séparateurs à faible intensité sont utilisés pour séparer les matériaux ferromagnétiques et certains matériaux paramagnétiques hautement susceptibles. Les séparateurs à haute intensité présentent des coûts d'achat et d'opération très élevés. En effet, la production d'un champ magnétique intense entraîne une consommation élevée d'électricité.

Chapitre 3 : Méthodologie

- Mode opératoire

Après avoir séché l'échantillon, nous avons choisi six classes granulométriques dont la masse de chaque classe est de l'ordre de 50g.

1ere classe → 5 mm - 3.15 mm

2eme classe → 3.15 mm - 1 mm

3eme classe → 1 mm - 500 μm

4eme classe → 500 μm – 250 μm

5eme classe → 250 μm – 125 μm

6^{ème} classe → 125 μm – 80 μm

7^{ème} classe → <80μm

Pour atteindre nos objectifs, nous prendrons en considération trois paramètres, à savoir : l'intensité du champ magnétique, l'ouverture du clapet et la granulométrie du produit à séparer;

- Le poids initial à introduire pour chaque essai est de 50g.
- Les ouvertures de clapet pris en compte : 10 mm, 18mm.
- Les intensités du champ (H) à appliquer sont fixées à 2, 6 et 12 ampères.
- Vitesses de rotation (V) constante = 60 tr/min.
- Granulométrie du produit comporte toutes les tranches (<5 mm), ou chacune des tranches sera testées respectivement aux intensités.

Il est à noter que les ouvertures du clapet correspondent à des angles suivants :

Ouverture 1(10 mm) = angle 36 °

Ouverture 2 (18 mm) = angle 41 °[34]

Variante 02 : Séparation magnétique-Flottation

3.7.2 La flottation

Lorsqu'on concentre les minéraux par les méthodes physiques, leur formule chimique a peu d'importance. Les propriétés d'intérêts sont plutôt macroscopiques, telle la masse volumique. En revanche, quand on concentre les minéraux par flottation, la formule chimique revêt une importance majeure, surtout si l'on désire comprendre ce qui se produit réellement. De façon générale, les minéraux sont classés en fonction de leur degré de polarité. Un minéral est dit polaire s'il comporte, éparpillés sur sa surface, des sites dont la charge électrique résiduelle est majoritairement positive, adjacents à des sites dont la charge électrique résiduelle est

Chapitre 3 : Méthodologie

plutôt négative, il en résulte des dipôles électriques, d'où l'existence de la polarité. Tandis que les minéraux polaires contiennent un grand nombre de sites positifs et négatifs, les minéraux non polaires n'en possèdent pas, ou très peu. Les surfaces des minéraux polaires réagissent fortement avec les molécules d'eau, avec les ions. Ces surfaces sont dites hydrophiles, en ce sens qu'elles aiment la présence de l'eau, ou aérophobes. C'est-à-dire qu'elles fuient la présence de l'air. Au contraire, les surfaces des minéraux non polaires n'attirent pas les molécules d'eau, ni les ions et ne sont pas très actives. Ces surfaces sont donc qualifiées d'hydrophobes, c'est-à-dire qu'elles fuient la présence de l'eau. Elles sont aussi qualifiées d'aérophiles : elles attirent l'air. [29]

- Principe

La flottation est une méthode de séparation physico-chimique des solides entre eux, en tenant compte des différences existant entre leurs propriétés superficielles (hydrophobie, hydrophylicité) dans une solution aqueuse et en présence d'air. Pour ce faire, on disperse des bulles d'air dans une suspension aqueuse de particules solides (pulpe) pour récupérer l'espèce minérale à séparer, rendue préalablement hydrophobe par un ajout de collecteur. L'ensemble eau-bulles-particules hydrophobes est rassemblé sous forme d'une écume surnageante stabilisée par un moussant (Blazy et al, 2000).

Dans l'industrie minière, son objectif est de séparer des minéraux en suspension dans un liquide et se base sur les propriétés de surface des particules. Pour pouvoir employer cette technique, il faut réunir trois conditions essentielles :

- Obtention de bulles d'air stables pouvant former une mousse ;
- Adhésion des minéraux à flotter aux bulles d'air ; Non adhésion aux bulles d'air des particules que l'on ne veut pas flotter et mouillage de ces particules par l'eau,
- lévitation des minéraux valorisables accrochés aux bulles à la surface et leur récupération dans la mousse.[33]

Chapitre 3 : Méthodologie

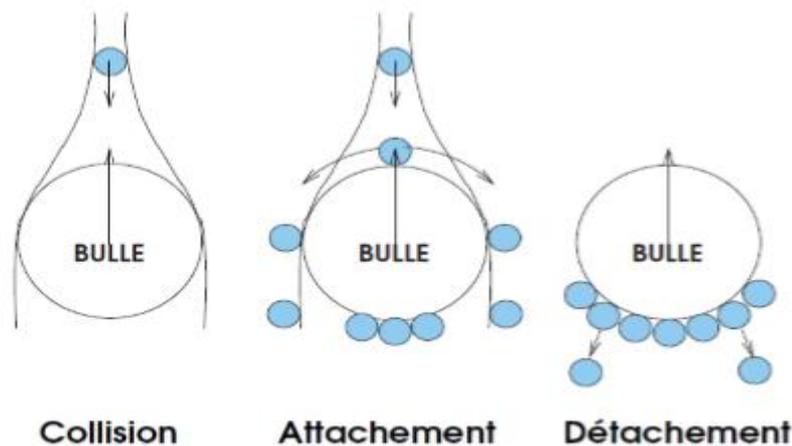


Figure 27 Mécanismes de l'interaction bulle-particule (Ralston et al, 1999)

*Réactifs de flottation

Un **collecteur** est le centre nerveux d'un processus de flottation. Les raisons sont que, d'abord, le collecteur est souvent le réactif le plus sélectif, c'est-à-dire qu'il est adsorbé à l'interface d'un seul minéral. Ensuite, un processus de flottation est généralement plus sensible au dosage du collecteur qu'au dosage des autres réactifs.

Les collecteurs sont divisés en trois grandes catégories :

- Les collecteurs non ionisés et non polaires : leur particularité est qu'ils ne contiennent pas la partie polaire, c'est pourquoi ils n'agissent pas avec l'eau et avec les surfaces des minéraux, mais ils ont la possibilité de se fixer sur la surface hydrophobe des minéraux.
- Les collecteurs anioniques : ce sont des collecteurs lors de la dissociation desquels le radical hydrocarbure entre dans la composition de l'anion. On distingue les carboxyles et les thiocarboxyles. On peut citer les xanthates et les aérofloats...
- Les collecteurs cationiques : ce sont les collecteurs lors de la dissociation desquels le radical hydrocarbure entre dans la composition du cation. Ce sont les amines et leurs sels. [26]

Tous les collecteurs sont des réactifs organiques. La plupart du temps, ce sont des composés hétéro polaires constitués de deux extrémités : un non-polaire ou hydrophobe, généralement une chaîne hydrocarbonée. L'autre, polaire et hydrophile, est souvent chargée négativement ou positivement. Le mécanisme d'action du collecteur est le suivant : la tête polaire va se fixer sur la surface de la particule dont la charge a été acquise lors du broyage, et la chaîne organique va, par adsorption, rendre la surface de la particule hydrophobe. [27]

Chapitre 3 : Méthodologie

Mis à part les collecteurs, les agents **déprimants** sont les produits chimiques sélectifs les plus utiles en flottation. Il en existe une gamme très étendue entre des réactifs organiques et inorganiques. Les minéraux qui se rapportent à la même classe (ex : minéraux sulfatés) flottent avec le même collecteur. L'utilisation du déprimant permet d'augmenter la sélectivité de l'action du collecteur aux minéraux appartenant à la même classe. Le rôle du déprimant est d'annuler l'effet du collecteur sur certaines surfaces minérales précises, et ainsi de faire plonger les minéraux que l'on ne veut pas flotter, en évitant par-là leur piégeage dans le produit de mousse.

Un agent **moussant** est un réactif organique hétéro polaire, c'est-à-dire qu'une extrémité de la molécule est polaire et hydrophile, et l'autre est non polaire et hydrophobe. Cette molécule est tensioactive : elle permet pour de faibles concentrations en solution d'abaisser la tension inter faciale liquide-gaz à une valeur minimale. Les moussants contribuent à la formation d'une mousse stable et solide et cela est assuré en jouant sur la dimension des bulles d'air et la solidité de la mousse

L'activant est employé avant d'ajouter le collecteur pour rendre la surface d'un minéral donné apte à l'adsorber, Il contribue donc à une meilleure fixation du collecteur sur les surfaces minérales. [28]



Figure 28 Cellule de flottation (Denver)

Les régulateurs du milieu exercent leur influence sur la flottabilité des minéraux par voie indirecte en changeant la composition ionique de la pulpe. Un régulateur est un réactif déterminant le degré d'acidité ou d'alcalinité de la pulpe.

Chapitre 3 : Méthodologie

3.7.3 Paramètres influant sur l'opération de flottation

La technique de flottation dépend d'un grand nombre de variables dont les plus importantes sont (Ek, 1978 ; Bouchard ;2001 ; Wills ; 2001). On peut les diviser en trois catégories :

- Les paramètres chimiques qui sont liés à la nature et la dose des réactifs ainsi leur temps de conditionnement ;
- Les paramètres liés à l'appareillage qui sont liés au type d'appareil utilisé, à la vitesse du rotor de l'appareil (pour les machines de flottation mécaniques) et le débit d'air ;
- Les paramètres liés à la préparation de la pulpe comprennent la nature du minéral, la dimension des particules, la densité de la pulpe, la température, le pH etc.[30]

Cette variante consiste à appliquer la méthode combinée de séparation magnétique et de flottation. Dans ce schéma, on procède au préalable à un concassage grossier du tout-venant, puis un broyage du minerai à moins de 250 μm en utilisant le broyeur planétaire à billes de type Retsch PM-100.



Figure 29 : Broyeur planétaire à billes de type Retsch PM-100

On distingue deux niveaux de séparation :

- Pour la séparation magnétique : La classe granulométrique ($<250\mu\text{m}$) est utilisée pour séparer le minerai du fer (particules magnétiques) des résidus.
- Pour la flottation : Les produits magnétiques du premier niveau de séparation seront soumis aux essais de flottation tout en variant la concentration du collecteur (Acide oléique) et le rapport liquide/solide.

Les essais de flottation ont été réalisés au niveau du laboratoire de minéralurgie de Génie Minier à l'ENP, en utilisant une cellule de flottation de type Denver. Le temps de

Chapitre 3 : Méthodologie

conditionnement de chaque réactif est fixé pour tous les essais de flottation, il en est de même pour la durée de flottation. On récupère l'écume formée à la surface (Concentré de Fer) pendant 4 mn.[31]

- Mode opératoire

La cellule de flottation (type Denver D12) doit être remplie d'eau, on ajoute ensuite le minerai de façon à obtenir une pulpe d'environ 25% en solide. Les essais de flottations comprennent plusieurs paramètres qui peuvent influencer sur la qualité du concentré ou bien du produit de la cellule. Notre travail est dirigé selon une variante principale (Variation de la concentration du collecteur).

Pour chaque essai on mélange une quantité de 350g de minerai de fer (produit magnétique issu de la séparation magnétique) et un volume d'eau en respectant le rapport liquide /solide, on y a ensuite ajouté les réactifs selon le type de flottation.

Il nous y difficile de déterminer au départ les doses des réactifs, mais d'après notre recherche bibliographique et la disponibilité des réactifs au laboratoire de notre département, les réactifs sélectionnés sont :

Tableau 5 les réactifs utilisés

Réactifs	Nom du réactif	Concentration	Quantité	Temps de conditionnement
Régulateur du milieu	L'acide chlorhydrique	5% ↔ pH = 6,8	40 ml	3 min
Collecteur	L'acide oléique à	0.5 %	3, 4, 5 ml	3 min
Moussant	L'huile de pin	/	02 gouttes	2 min

Réactifs de flottation



Figure 30 : 350 g de notre échantillon

- Préparation des réactifs :

Chapitre 3 : Méthodologie

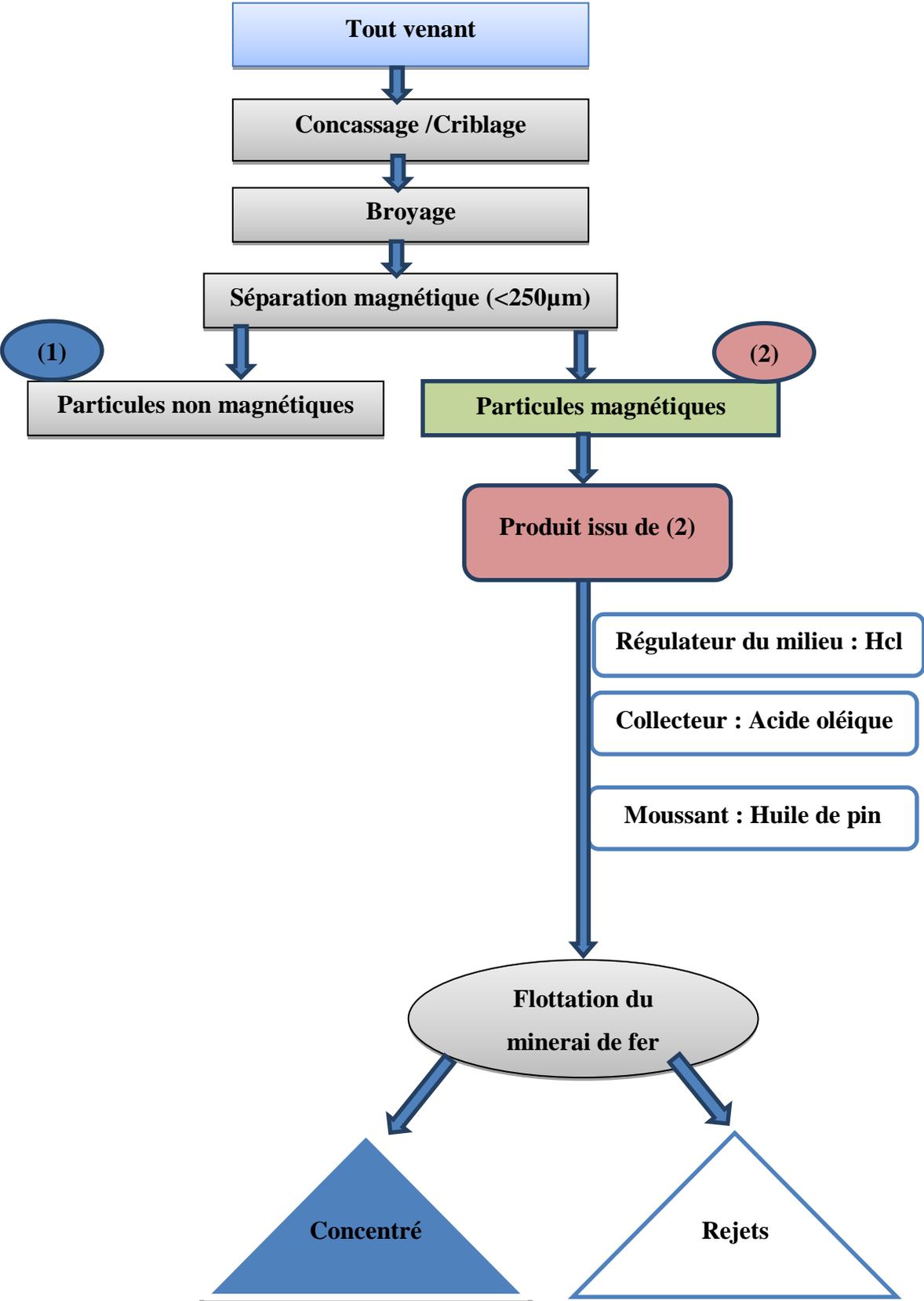
Pour préparer une solution de 50ml d'acide oléique à 0.5 %, il suffit de mettre 0.25 ml d'acide oléique dans une fiole de 50 ml et de compléter avec de l'eau jusqu'au trait de jauge. Comme l'acide oléique ne se dissout pas en solution, la démarche consiste à mélanger le volume prélevé de cet acide avec des hydrocarbures (kérosène).

Environ 10 minutes d'agitation sont nécessaires pour la stabilisation de la pulpe et la bonne répartition du solide. On ajoute alors 40mL d'HCl à 5%, de façon à réguler le milieu à pH = 6.8; le temps de conditionnement est 3 minutes. Puis, on ajoute le collecteur à raison de 3.4 et 5 ml pour les 3 essais respectifs. Après un conditionnement supplémentaire de 3 minutes, on ajoute 02 gouttes de l'huile de pin. Après 2mn d'agitation, on injecte de l'air en maintenant la vitesse d'agitation de la cellule à 1500 tours/mn. Nous avons suivi le schéma ci-dessous pour l'essai de valorisation, en variant le paramètre déjà cité.



Figure 31
Réactifs utilisés

Chapitre 3 : Méthodologie



Chapitre 3 : Méthodologie

Figure 32 Schéma de traitement du minerai de fer par la méthode 02
(Séparation magnétique-Flottation)

Remarque :

Tous les essais sont effectués au niveau de notre laboratoire du Génie Minier à l'Ecole Nationale Polytechnique mais les analyses ont été faites au sein du laboratoire central du complexe sidérurgique de l'Hadjar en utilisant la méthode des pastilles établie sous plusieurs étapes :

- Peser 0.5g de notre échantillon
- Ajouter 5 g de tetraborate de potassium.
- Ajouter quelques gouttes de KI (Iodate de potassium) pour éviter toutecollage.
- Mélanger le tout dans un creusé en graphite et le placer dans un four électrique pendant 5 à 10min à 1500°C.



Figure 33 Echantillon à la sortie du four

- Placer l'échantillon dans une nacelle en céramique afin de former une pastille



Figure 34 Préparation des pastilles

- Mettre l'échantillon à l'intérieur de l'appareil (Arl perform'x xrf).

Chapitre 3 : Méthodologie



Figure 35L'appareil Arlperform'xxrf

Chapitre4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Chapitre 4 : résultats et interprétations

Chapitre 4 : résultats et interprétations :

4.1 ANNALYSE GRANULOMETRIQUE

Les pourcentages des refus ou des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme d'une Courbe granulométrique semi log, en portant les ouvertures des tamis en abscisse, et les pourcentages des tamisats cumulés en ordonnée, sur une échelle arithmétique (figure 23). La courbe est tracée de manière continue.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés dans le tableau 2 :

Tableau 6 resultats d'analyse granulometrique

D	Refus (g)	Refus Cumulés (g)	% Refus Cumulés	% Tamisats Cumulés
5	57	57	5,7	94,3
3,15-5	161	218	21,8	78,2
1-3,1	300	518	51,8	48,2
0,5-1	122	640	64	36
0,25-0,5	105	745	74,5	25,5
0,125-0,25	110	855	85,5	14,5
0,08-0,125	29	884	88,4	11,6
0,04-0,08	90	974	97,4	2,6
0-0,04	26	1000	100	0

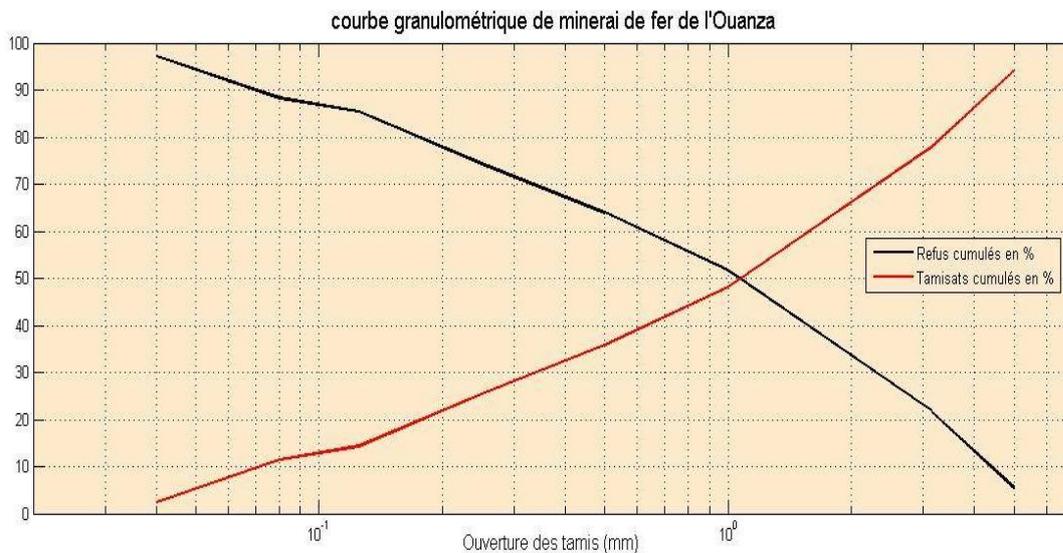


Figure 36 courbe granulometriue

Chapitre 4 : résultats et interprétations

4.1.1.interpretation :

Afin de classer notre minerai et déterminer la distribution et la répartition des grains (serrée, étalée, peu de particules fine,...) en fonction du diamètre des tamis utilisés, nous avons calculé les coefficients de courbure et d'uniformité à savoir : Cu, Cc.

-Coefficient d'uniformité Cu : Il représente en quelque sorte une caractérisation quantitative de l'étalement d'une courbe granulométrique, il peut être déterminé par la formule suivante :

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

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 :[22]

$Cu \leq 2$: 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 : cet indice permet de quantifier la distribution des particules dans une courbe granulométrique, il est déterminé par la relation suivante :

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

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

Aussi, afin de déterminer si la granulométrie est bien graduée ou mal graduée (un sol est mal gradué si une fraction de grains prédomine)

Si $1 < Cc < 3$: La continuité est bien répartie ou sol bien gradué

Si $Cc < 1$ ou $Cc > 3$: La continuité est mal répartie ou sol mal gradué

Chapitre 4 : résultats et interprétations

Pour notre échantillon et après calcul des différents diamètres, nous avons obtenu les résultats suivant :

matériau	diametre efficace			coef d'uniformité Cu	coef de courbure Cc
	D60	D30	D10		
ESSAI	0,13	0,35	0,07	1,85	13,46

Tableau 7 Calculs des coefficients

*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 calculés on peut déduire que :

Notre échantillon est caractérisé par une granulométrie très serrée et présente peu de particules fines et aussi mal gradué.

4.2 RESULTATS ANALYSE CHIMIQUE

Un échantillon a été analysé par fluorescence X, les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 9. D'après les résultats de la composition chimique, on remarque la présence du % SiO₂ avec une teneur faible et qui atteint 7 %, de même pour le cas de Al₂O₃ et de MgO. Il est intéressant de mettre en valeur ce type de minerai en vue d'un enrichissement par des procédés minéralurgiques basés sur la différence des propriétés spécifiques des minéraux et de la gangue.

Tableau 8 resultats de l'analyse chimique du fer de l'Ouanza

Eléments	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	BaSO ₄	S	Mn	Cu	P
Teneurs %	42.8	7.00	10.10	2.00	2.25	Trace	0.04	1.98	Trace	0.02

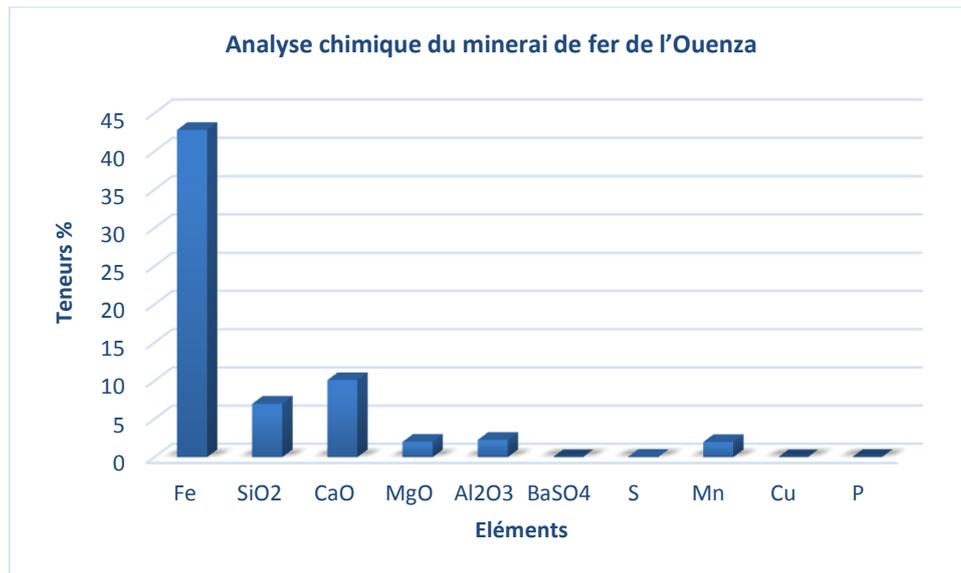


Figure 37 Analyse chimique du minerai de fer de l'Ouenza

4.3 RESULTATS ET INTERPRÉTATIONS DU TRAITEMENT PAR SÉPARATION MAGNÉTIQUE PAR VOIE SÈCHE :

Les tableaux et les graphes récapitulant les expériences faites dans cette partie sont représentés ci-après :

Notre interprétation sera basée principalement sur le résultat des degrés d'extraction (récupération) ainsi que les teneurs en fer de la fraction magnétique. Nous distinguons :

$$\xi_i = \frac{\gamma_i \beta_i}{\alpha_i}$$

Avec :

β_{Ft} : Respectivement les teneurs en fer total dans la fraction en (%)

ξ_{Ft} : Respectivement degré d'extraction du fer total en (%)

Le degré d'extraction est calculé d'après la formule suivante :

α_i : Teneur en composants utiles dans l'alimentation (produit à séparer)

γ_i : Rendement de la fraction en (%)

Chapitre 4 : résultats et interprétations

Tableau 9 Résultats et conditions des essais pour la 1^{ère} classe (-5+3.15)
1ere Classe

Nb d'essais	Paramètres		Fraction magnétique			Fra non mag	Produit d'alimentation	
	Intensité (A)	Ouverture du clapet (°)	$\gamma 1$ (%)	βFt (%)	ξFt (%)	$\gamma 2$ (%)	γ (%)	αFt (%)
1	2	Ouverture 1(36°)	5,02	43,44	5,41	94,98	100	40,32
2	6	Ouverture 1(36°)	11,78	44,21	12,50	88,22	100	41,65
3	12	Ouverture 1(36°)	31,18	45,13	34,02	68,82	100	41,36
4	2	Ouverture 2 (41°)	3,28	44,02	3,55	96,72	100	40,65
5	6	Ouverture 2 (41°)	3,26	46,32	3,69	96,74	100	40,95
6	12	Ouverture 2 (41°)	8,72	47,21	10,03	91,28	100	41,05

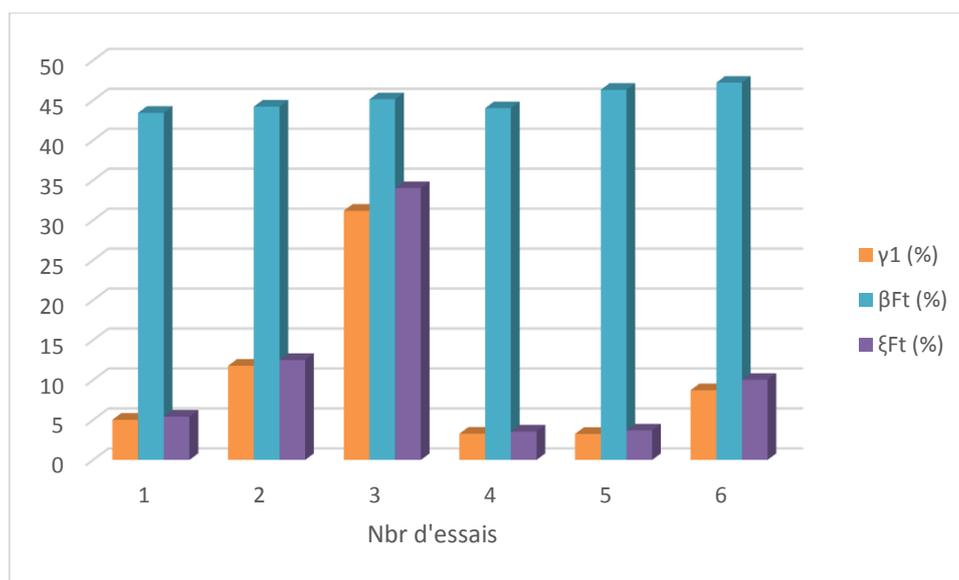


Figure 38 Résultats de séparation magnétique de la classe (-5+3.15)

Pour la première classe, nous constatons que les degrés d'extraction ξFt sont faibles quelle que soit la variation des paramètres du séparateur magnétique (intensité du courant, ouverture du clapet). De plus, les teneurs en fer de la fraction magnétique sont relativement élevées avec une teneur maximale de l'ordre de 47.21%. On peut dire que cette faible récupération est liée à la grosseur des particules.

Nous remarquons aussi que la récupération augmente avec l'augmentation de l'intensité du courant.

Chapitre 4 : résultats et interprétations

Tableau 10 Résultats et conditions des essais pour la 2^{ème} classe (-3.15+1)
2ème Classe

Nb d'essais	Paramètres		Fraction magnétique			Fra non mag	Produit d'alimentation	
	Intensité (A)	Ouverture du clapet (°)	γ_1 (%)	β_{Ft} (%)	ξ_{Ft} (%)	γ_2 (%)	γ (%)	α_{Ft} (%)
1	2	Ouverture 1(36°)	50,10	46,21	57,55	49,90	100	40,23
2	6	Ouverture 1(36°)	77,64	51,02	93,14	22,36	100	42,53
3	12	Ouverture 1(36°)	86,78	48,45	99,87	13,22	100	42,10
4	2	Ouverture 2 (41°)	10,16	46,51	11,63	89,84	100	40,63
5	6	Ouverture 2 (41°)	75,66	48,02	87,40	24,34	100	41,57
6	12	Ouverture 2 (41°)	75,06	49,84	92,76	24,94	100	40,33

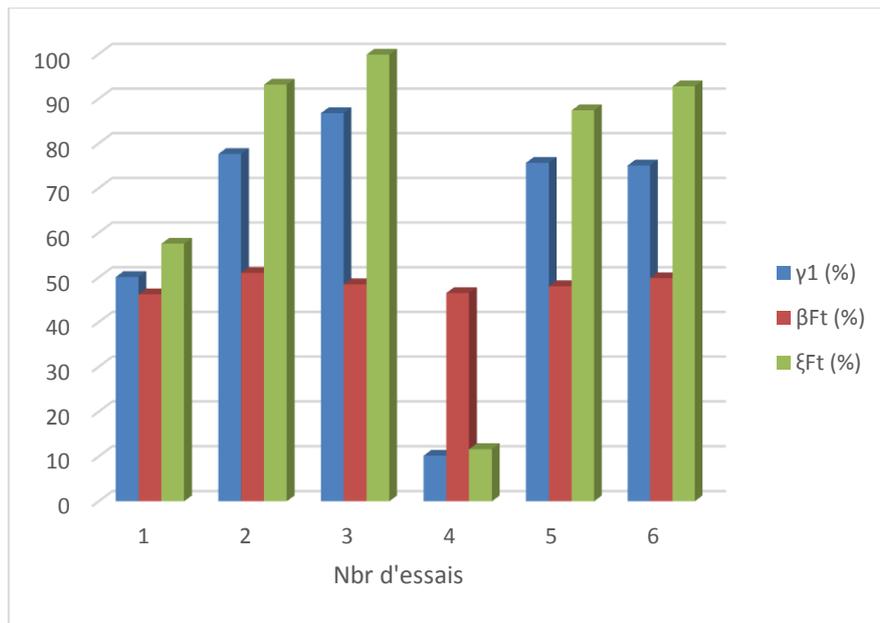


Figure 39 Résultats de séparation magnétique de la classe (-3.15+1)

La séparation magnétique de la deuxième classe granulométrique (-3.15+1) nous donne une récupération maximale de 99.87%, un rendement pondéral de 86.78% et une teneur en fer de 48.45%. En revanche, la teneur en fer maximale correspond à un taux d'extraction de 93.14%. On remarque que la séparation à basse intensité du courant (2 A) donne des valeurs faibles de récupération. Dans l'ensemble, en augmentant l'intensité, le degré d'extraction du fer total augmente à n'importe quelle position du clapet.

Chapitre 4 : résultats et interprétations

Tableau 11 Résultats et conditions des essais pour la 3^{ème} classe (-1+0.5)

3^{ème} Classe :

Nb d'essais	Paramètres		Fraction magnétique			Fra non mag	Produit d'alimentation	
	Intensité (A)	Ouverture du clapet (°)	γ_1 (%)	β_{Ft} (%)	ξ_{Ft} (%)	γ_2 (%)	γ (%)	α_{Ft} (%)
1	2	Ouverture 1(36°)	92,96	48,21	99,77	7,04	100	44,92
2	6	Ouverture 1(36°)	96,00	47,61	99,40	4,00	100	45,98
3	12	Ouverture 1(36°)	98,72	47,59	98,87	1,28	100	47,52
4	2	Ouverture 2 (41°)	62,88	52,41	72,19	37,12	100	45,65
5	6	Ouverture 2 (41°)	97,00	47,66	98,49	3,00	100	46,94
6	12	Ouverture 2 (41°)	97,12	48,75	98,86	2,88	100	47,89

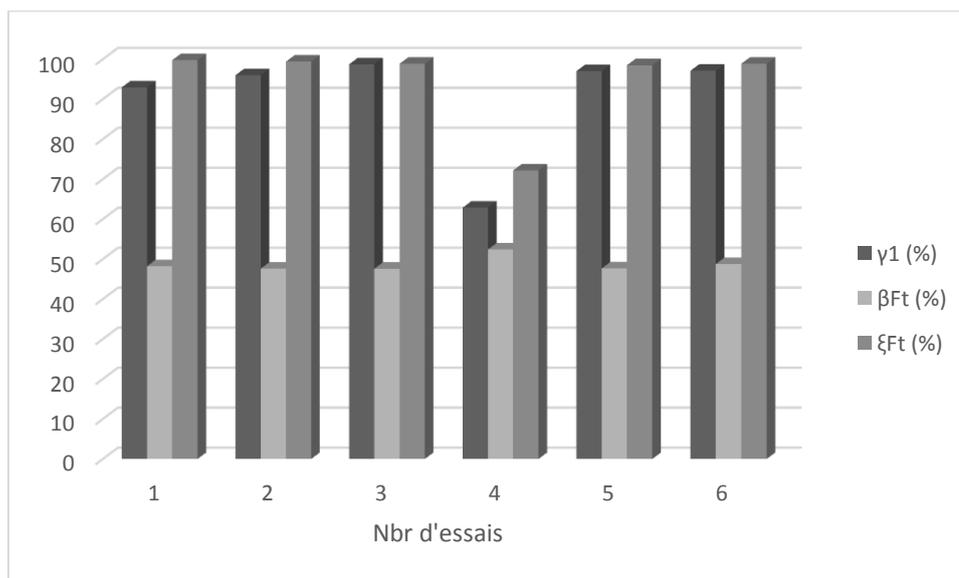


Figure 40 Résultats de séparation magnétique de la classe (-1+0.5)

En ce qui concerne la classe (-1+0.5), la récupération meilleure correspond à une teneur en fer de 48.21% avec une basse intensité et une ouverture du clapet en position 01. Il est à noter que le taux d'extraction est élevé pour les différentes intensités et en toutes positions à l'exception de l'essai 04 où la récupération est de 72.19%.

Tableau 12 Résultats et conditions des essais pour la 4^{ème} classe (-0.5+0.25)

4^{ème} Classe:

Nb d'essais	Paramètres		Fraction magnétique			Fra non mag	Produit d'alimentation	
	Intensité (A)	Ouverture du clapet (°)	γ_1 (%)	β_{Ft} (%)	ξ_{Ft} (%)	γ_2 (%)	γ (%)	α_{Ft} (%)
1	2	Ouverture 1(36°)	37,38	49,32	38,45	62,62	100	47,95
2	6	Ouverture 1(36°)	96,64	50,25	99,82	3,36	100	48,65
3	12	Ouverture 1(36°)	98,98	52,25	99,96	1,02	100	51,74
4	2	Ouverture 2 (41°)	49,04	48,74	50,13	50,96	100	47,68
5	6	Ouverture 2 (41°)	99,80	51,23	99,96	0,20	100	51,15
6	12	Ouverture 2 (41°)	98,90	53,32	99,95	1,10	100	52,76

Chapitre 4 : résultats et interprétations

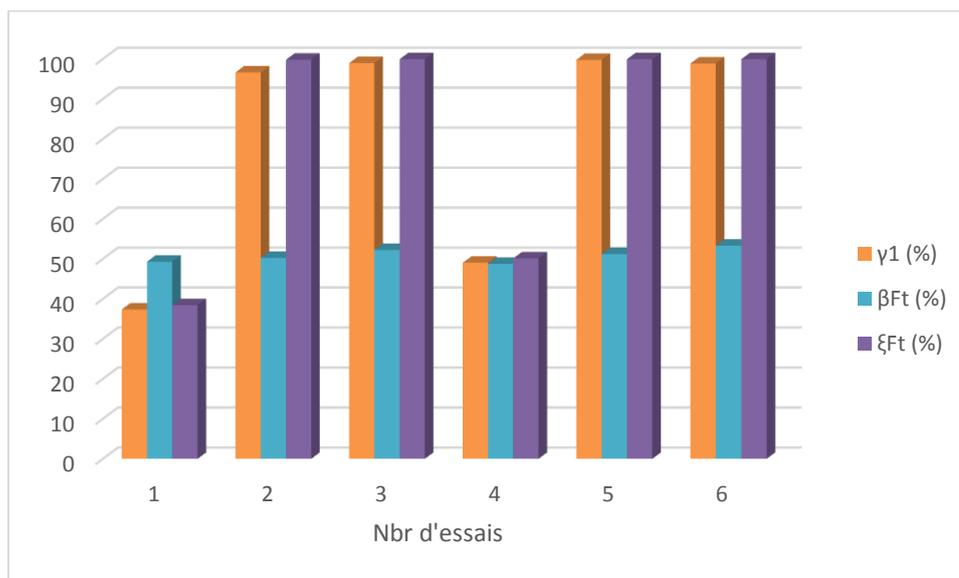


Figure 41 Résultats de séparation magnétique de la classe(-0.5+0.25)

La classe quatre (-0.5+0.25) montre des taux d'extraction élevés pour des intensités hautes (6 et 12 A). L'intensité de 2A donne des valeurs faibles de récupération (38.45% et 50,13%). On constate que les résultats sont satisfaisants à n'importe quelle position du clapet. La meilleure valeur de récupération (99.95%) correspond à une teneur en fer la plus élevée (53.32%) et un rendement pondéral de 98.90%.

Tableau 13 Résultats et conditions des essais pour la 5^{ème} classe (- 0.25+0.125)

5ème Classe:

Nb d'essais	Paramètres		Fraction magnétique			Fra non mag	Produit d'alimentation	
	Intensité (A)	Ouverture du clapet (°)	γ1 (%)	βFt (%)	ξFt (%)	γ2 (%)	γ (%)	αFt (%)
1	2	Ouverture 1(36°)	36,14	52,46	37,74	63,86	100	50,23
2	6	Ouverture 1(36°)	94,38	43,52	96,99	5,62	100	42,35
3	12	Ouverture 1(36°)	97,48	54,62	99,67	2,52	100	53,42
4	2	Ouverture 2 (41°)	35,36	45,46	36,36	64,64	100	44,21
5	6	Ouverture 2 (41°)	94,38	44,22	95,92	5,62	100	43,51
6	12	Ouverture 2 (41°)	98,00	55,72	99,94	2,00	100	54,64

Chapitre 4 : résultats et interprétations

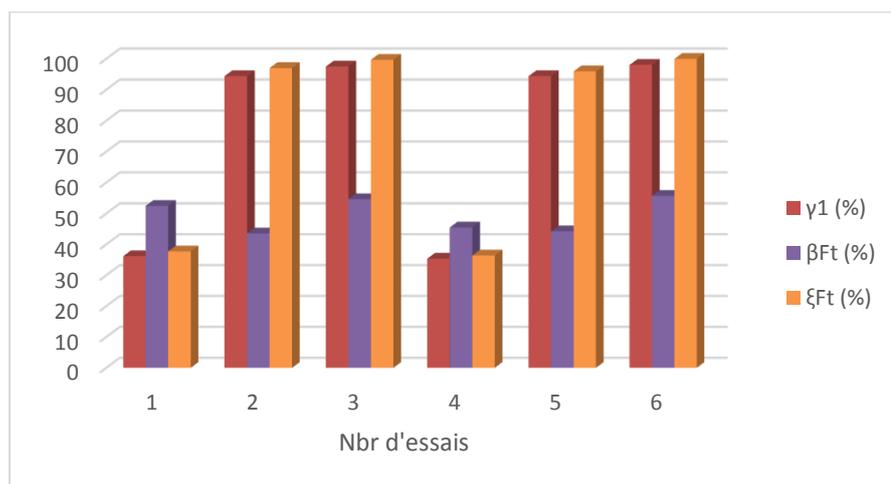


Figure 42 Résultats de séparation magnétique de la classe (-0.25+0.125)

Pour la classe (-0.25+0.125), nous constatons que la récupération est excellente avec des valeurs d'intensité moyennes et hautes. La valeur maximale du degré d'extraction coïncide avec la teneur en fer la plus élevée qui dépasse 55.5% et un rendement poids de 98%. Comme tous les essais, la récupération accroît avec l'augmentation de l'intensité du courant.

Tableau 14 Résultats et conditions des essais pour la 6^{ème} classe (-0.125+0.08)
6ème Classe:

Nb d'essais	Paramètres		Fraction magnétique			Fra non mag	Produit d'alimentation	
	Intensité (A)	Ouverture du clapet (°)	γ_1 (%)	β_{Ft} (%)	ξ_{Ft} (%)	γ_2 (%)	γ (%)	α_{Ft} (%)
1	2	Ouverture 1(36°)	38,46	44,32	40,25	61,54	100	42,35
2	6	Ouverture 1(36°)	96,58	46,45	99,98	3,42	100	44,87
3	12	Ouverture 1(36°)	42,50	49,34	45,64	57,50	100	45,95
4	2	Ouverture 2 (41°)	39,12	43,22	39,72	60,88	100	42,57
5	6	Ouverture 2 (41°)	97,58	45,52	99,97	2,42	100	44,43
6	12	Ouverture 2 (41°)	40,68	48,52	42,95	59,32	100	45,96

Chapitre 4 : résultats et interprétations

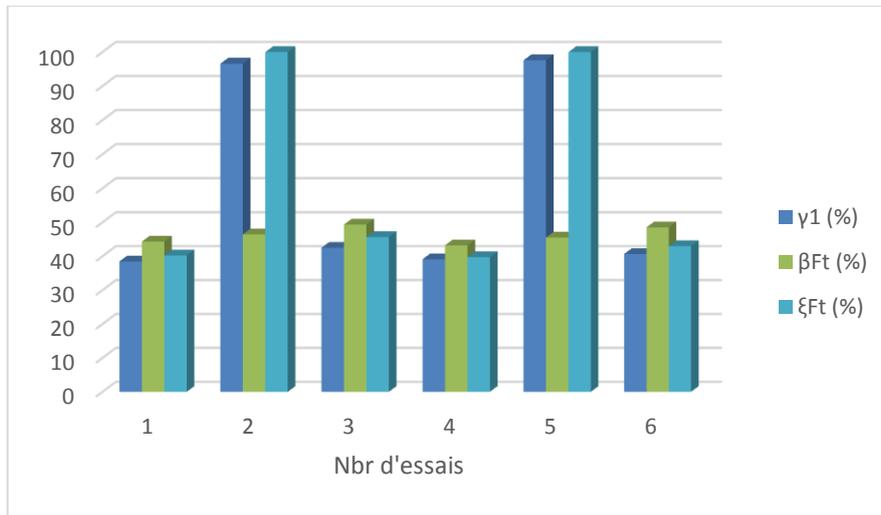


Figure 43 Résultats de séparation magnétique de la classe (-0.125+0.08)

La classe (-0.125+0.08) donne des taux d'extraction faibles par rapport aux autres fractions granulométriques. Les tests 02 et 05 montrent le meilleur résultat de récupération où la valeur peut atteindre 99.98%. La teneur en fer la plus élevée (49.34%) correspond à un degré d'extraction qui est égal à 45.64%.

Tableau 15 Résultats et conditions des essais pour la 7^{ème} classe (<0.08)
7ème Classe:

Nb d'essais	Paramètres		Fraction magnétique			Fra non mag	Produit d'alimentation	
	Intensité (A)	Ouverture du clapet (°)	γ1 (%)	βFt (%)	ξFt (%)	γ2 (%)	γ (%)	αFt (%)
1	2	Ouverture 1(36°)	50,10	44,32	53,70	49,90	100	41,35
2	6	Ouverture 1(36°)	63,65	46,35	69,37	36,35	100	42,53
3	12	Ouverture 1(36°)	68,32	48,85	76,49	31,68	100	43,63
4	2	Ouverture 2 (41°)	10,16	43,69	11,00	89,84	100	40,35
5	6	Ouverture 2 (41°)	60,31	45,63	64,97	39,69	100	42,36
6	12	Ouverture 2 (41°)	63,56	46,35	70,23	36,44	100	41,95

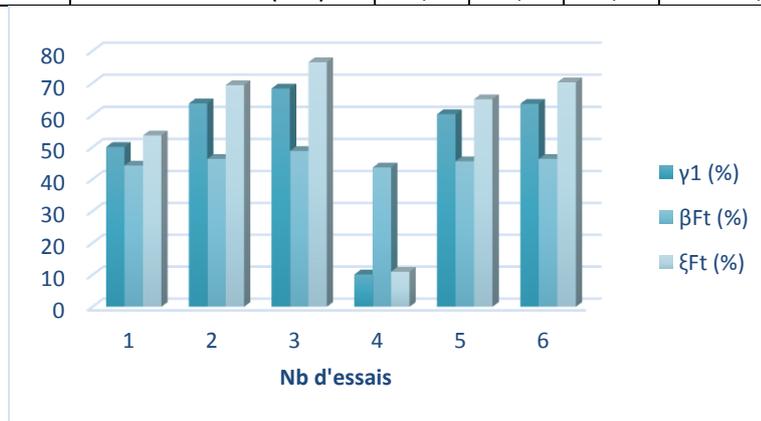


Figure 44 Résultats de séparation magnétique de la classe (<0.08)

Chapitre 4 : résultats et interprétations

En ce qui concerne la dernière classe granulométrique (<0.08), on constate que la meilleure valeur de récupération coïncide avec une haute intensité du courant (12A) et une ouverture 01 du clapet. La teneur en fer maximale est de l'ordre de 48.85%.

En comparant l'ensemble des résultats obtenus de différents essais, nous constatons que :

- L'utilisation de I=2 A nous donne des valeurs faibles de récupération que les deux autres intensités. Nous constatons que les deux dernières indiquent des degrés d'extraction élevés avec des résultats meilleurs avec I=12A. .
- Pour l'ouverture du clapet, nous avons constaté que l'ouverture la plus serrée (ouverture du clapet = 36°) donne des résultats satisfaisants, à l'exception des classes (-0.5+0.25), (-0.25+0.125), (-0.125+0.08) où la position du clapet n'a pas d'influence sur les résultats.
- D'après les résultats des degrés d'extraction et les teneurs en fer, on peut dire que les classes granulométriques (-0.5+0.25), (-0.25+0.125) correspondent aux dimensions optimales à lesquelles la séparation magnétique est meilleure.

Suite aux différents essais, nous avons choisi les paramètres suivants :

Intensité I = 12 Ampères

Ouverture du clapet = pas d'influence.

Granulométrie : classes granulométriques (-0.5+0.25), (-0.25+0.125)

4.4 RESULTATS ET INTERPRETATIONS DU TRAITEMENT PAR SEPARATION MAGNETIQUE- FLOTTATION :

Nous avons suivi le schéma de valorisation par la méthode combinée de séparation magnétique et de flottation (voir chapitre 2) en variant les paramètres déjà cités.

1. Influence de la quantité du collecteur

Tableau 16 Influence de la quantité du collecteur

Nb d'essais	Paramètres Collecteur (ml)	Concentré			Rejet $\gamma 2$ (%)	Produit d'alimentation	
		$\gamma 1$ (%)	βFt (%)	ξFt (%)		γ (%)	αFt (%)
1	3	24.57	47.85	27.76	75.43	100	42,35
2	4	25.43	49.35	28.75	74.57	100	43.65
3	5	31.14	53.62	38.64	68.86	100	43.21

Chapitre 4 : résultats et interprétations

Pour étudier l'effet du dosage du collecteur sur l'opération de flottation, nous avons effectué des essais en prenant trois concentrations différentes du collecteur (3, 4 et 5ml). Le collecteur utilisé durant nos tests est l'acide oléique avec un temps de conditionnement de 3 minutes.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons :

- Une augmentation de la récupération avec l'ajout du collecteur.
- Le volume prélevé de 5 ml d'acide oléique dilué dans du kérosène donne un degré d'extraction de 38.64%.
- Le concentré du fer a une teneur maximale de 53.62%.

Durant ces essais, la quantité optimale du collecteur est de 5ml.

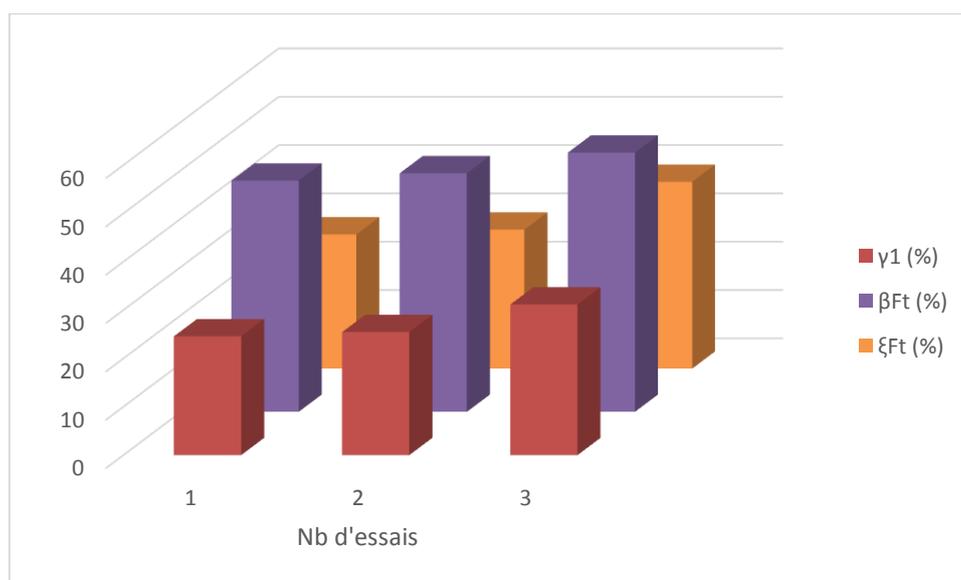


Figure 45 Résultats de l'influence de la quantité du collecteur

2. Influence du rapport liquide/solide

Tableau 17 Influence du rapport liquide/solide

Nb d'essais	Paramètres Rapport L/S	Concentré			Rejet γ_2 (%)	Produit d'alimentation	
		γ_1 (%)	β_{Ft} (%)	ξ_{Ft} (%)		γ (%)	α_{Ft} (%)
1	25%	28.32	48.63	32.06	71.68	100	42,95
2	35%	36.87	55.68	47.17	63.13	100	43.52
3	50%	49.36	50.74	57.88	50.64	100	43.27

Chapitre 4 : résultats et interprétations

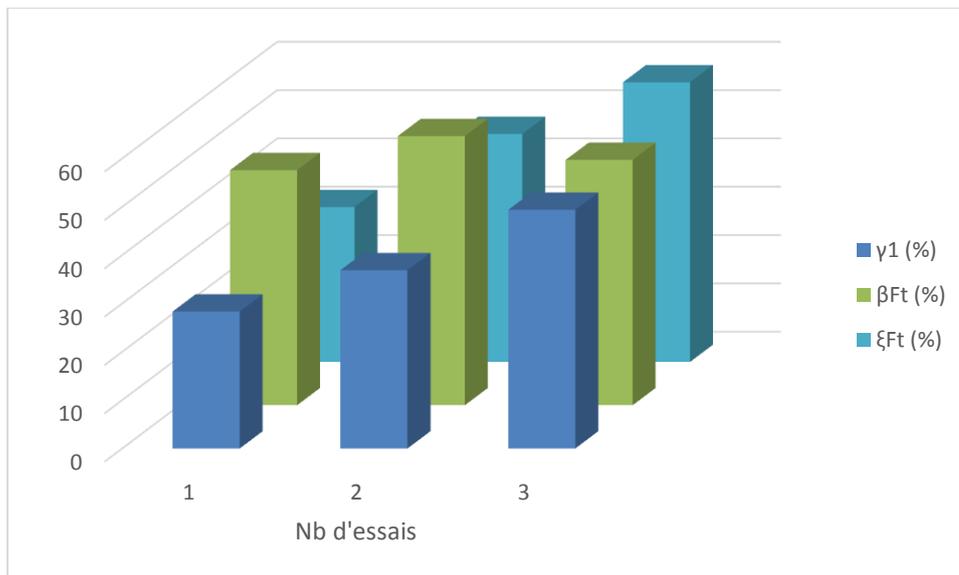


Figure 46 Résultats de l'influence du rapport liquide/solide

En ce qui concerne le deuxième paramètre (rapport liquide/solide), on remarque une augmentation rapide du degré d'extraction en changeant le rapport liquide/solide.

D'après les résultats obtenus, on constate que le rapport liquide/solide optimal est de 50% de solide correspondant à une récupération de 57.88% avec une teneur en fer de 50.74%.



Figure 47 Procédé de flottation du minerai de fer de l'Ouenza

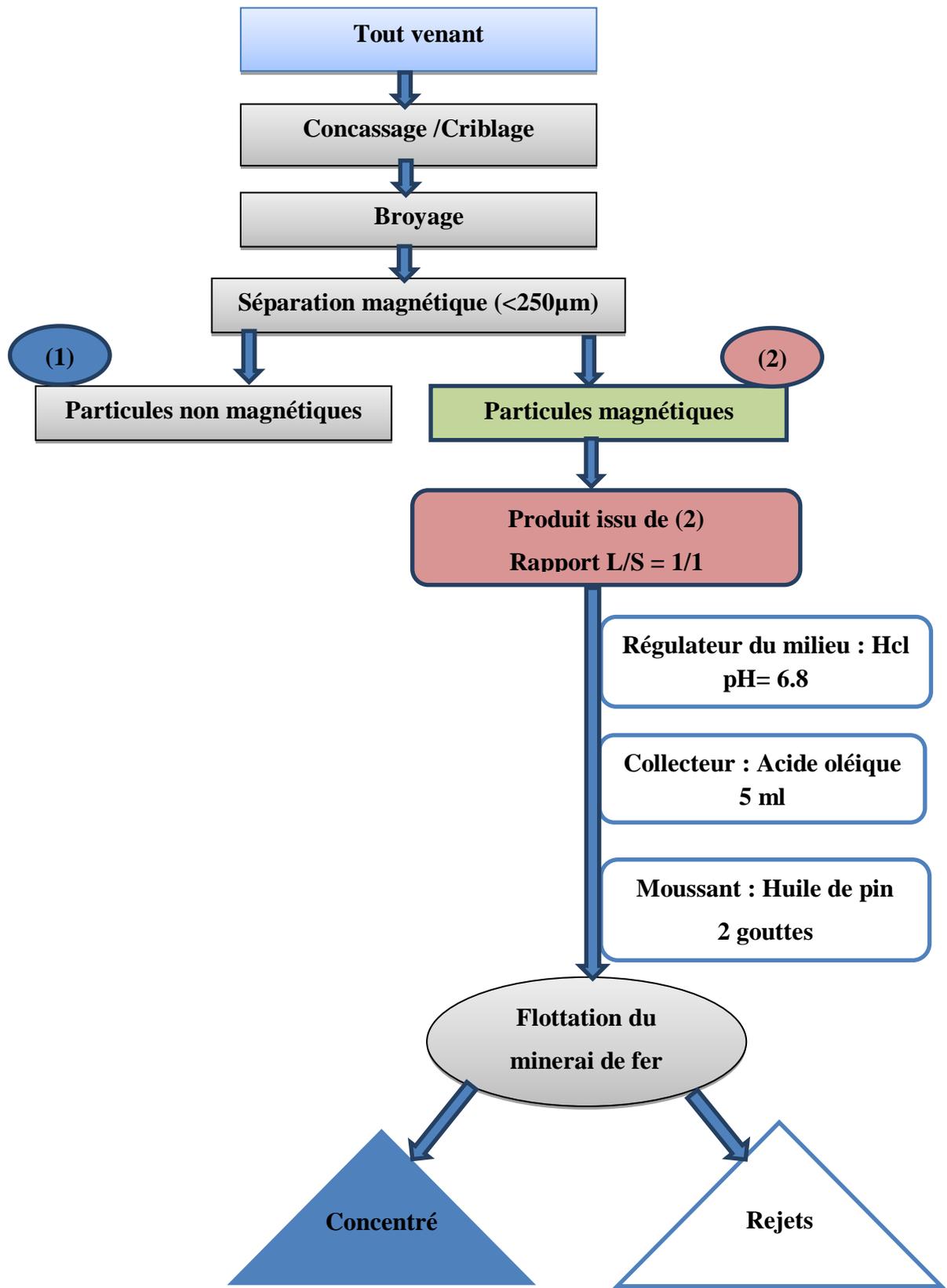


Figure 48 Flow sheet de traitement du minerai de fer par la méthode 02
(Séparation magnétique-Flottation)

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

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 industrielles.

L'introduction de nouvelles méthodes de valorisation permet d'obtenir des concentrés répondant aux exigences de plus en plus strictes des consommateurs. L'objectif de l'enrichissement du minerai de fer de l'Ouenza est de multiplier les réserves industrielles de substances utiles à partir des minerais pauvres, et en deuxième lieu, contribuer au développement de la production de l'acier.

Notre travail avait pour but d'améliorer l'aspect qualitatif du minerai de Fe provenant de la mine de l'Ouenza, par une étude de recherche d'un schéma de traitement, qui s'articule essentiellement sur une caractérisation physique, chimique et minéralogique du minerai, une recherche bibliographique des schémas récents et une partie expérimentale qui nous a permis de ressortir les conclusions suivantes :

- L'étude de caractérisation minéralogique soutenue par des analyses chimiques nous a conduit à une reconnaissance du minerai brut qu'est constitué principalement d'une partie ferrifères (hématite), accompagnée de minéraux de gangue.
- L'analyse granulométrique nous a permis de déduire que le minerai de fer de l'Ouenza est caractérisé par une granulométrie très serrée et présente peu de particules fines et aussi mal gradué.
- Notre travail avait pour but de déterminer la meilleure méthode d'enrichissement parmi ceux qui suivent :
 - Enrichissement par séparation magnétique.
 - Enrichissement par séparation magnétique-flottation.
- La séparation magnétique avec comme variables la granulométrie, l'intensité du courant, et l'ouverture du clapet. D'après les résultats obtenus, il a été conclu ce qui suit :
 - L'utilisation de $I=2$ A nous donne des valeurs faibles de récupération que les deux autres intensités. Nous constatons que les deux dernières indiquent des degrés d'extraction élevés avec des résultats meilleurs avec $I=12$ A.

Conclusion générale

- Pour l'ouverture du clapet, nous avons constaté que l'ouverture la plus serrée (ouverture du clapet = 36°) donne des résultats satisfaisants, à l'exception des classes $(-0.5+0.25)$, $(-0.25+0.125)$, $(-0.125+0.08)$ où la position du clapet n'a pas d'influence sur les résultats.
- D'après les résultats des degrés d'extraction et les teneurs en fer, on peut dire que les classes granulométriques $(-0.5+0.25)$, $(-0.25+0.125)$ correspondent aux dimensions optimales à lesquelles la séparation magnétique est meilleure.

Suite aux différents essais, nous avons choisi les paramètres suivant :

Intensité $I = 12$ Ampères

Ouverture du clapet = pas d'influence.

Granulométrie : classes granulométriques $(-0.5+0.25)$, $(-0.25+0.125)$

- La méthode combinée de séparation magnétique-flottation nous a conduit à travailler dans certaines conditions bien déterminées (pH, densité de la pulpe et la quantité du collecteur)

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

- La quantité optimale du collecteur utilisé est de 5 ml.
- La densité de la pulpe optimale est de 50%
- La flottation dépend de plusieurs paramètres dont chacun peut être objet d'une recherche plus approfondie dans l'avenir.

Afin de choisir entre les deux variantes (enrichissement par séparation magnétique ou séparation magnétique-flottation), il est préférable de varier plusieurs paramètres de flottation à savoir ; l'ajout d'un activant, temps de conditionnement, changement de collecteur, vitesse d'agitation, quantité d'air injecté.

Références

Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] IDRES. (A): Séparation magnétique. Département des mines, UBMA. (2012/2013).
- [2] BOULOT: Rapport sur l'entreprise nationale de la sidérurgie. Direction des Recherches Appliquée (D.R.A), S.N. Sidérurgie /Annaba, 41p. (1937)
- [3] DULCY.C: La classification des minéraux .1994.
- [4] Memoires de fin d'études: Aperçu géologique des gisements et perspectives de développement des Mines (Ouenza et Boukhadra), Mittal steel tébessa.2011.
- [5] AYADI Brahim: caractérisations et choix d'un schéma de traitement du minerai cuivre-fer de Douamis (Ouenza) , mémoire de magister,UMBA.2010.
- [6] ArcelorMittal, Les analyses physique et chimique des matières premières et aggloméré, laboratoire de Caractérisation physico-chimique. (2012).
- [7] Rapport de ArcelorMittal Tébessa,département d'études et développements, (2011).
- [8] Documentation, complexe sidérurgique ArcelorMittal –Annaba. (2013)
- [9] FERHANI A: Influence de l'indice de basicité sur les paramètres physico-chimiques de l'aggloméré. Direction des Recherches Appliqués (D.R.A), Rapport S.N.S/ANNABA,32p. (1991).
- [10] KARA Mourad , DJEFAFLA Sayah: Caractérisation et contrôle de la qualité d'aggloméré, Projet de fin d'étude (DEUA). UBMA, 78p. (2005).
- [11] RASTOIN J: L'utilisation du charbon Techni p 27, rue guinox 75737, Paris, (édition complète), 219p. (1983).
- [12] R. Fistarol Etude de la structure des microboulettes d'un mélange de minerais riches, Validation du 1er principe du modèle de nodulisation, IRSID MPF N2897 (1990).
- [13] Journée d'Etude sur l'enrichissement des minerais de fer français ;Extraction de la revue de l'industrieminérale. Janvierfévrier 1963 - volume 45 – N °1 et 2.
- [14] MOUSSACEB. K, « optimisation du système de gestion de l'homogénéisation du cru et du processus technologique de fabrication du ciment dans le système carrière usine de fabrication, application aux cimenteries Algériennes, laboratoire de technologie des matériaux et de génie de procédés », Thèse Doctorat, université de Bejaia, (2007).
- [15] AZIMI .S, « flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux en Île-de-France ».Thèse de Doctorat de L'école Nationale des Ponts et Chaussées; France; (2004).
- [16] CESSID - l'enrichissement des minerais de fer. Le 18 Octobre 1960. Z. 4001.
- [17] Merabet Djoudi; MehriDjamel; Bounouala Mohamed. Caractérisation, Enrichissement et propriété auto fondant du mineral de fer de l'ouenza 1993.
- [18] www.outotec.com. Outotec technologie de pelletisation.

- [19] SALAH KHARIEF. Pelletisation et simulation des conditions de la cuve de haut fourneau pour les boulettes du minerai de fer de gara Djebilet, memoires de magister. 1992.
- [20] CESSID. – Matière Première en Sidérurgie. Cahier 1 1955. L’agglomération sur grille des minerais de fer par J. ASTIER.
- [21] M. Bounouala (1988), Recherche et élaboration d’une technologie de traitement du minerai de fer cuivreux de l’Ouenza, thèse magistère, Université Badji Mokhtar de Annaba, 51-60pp.
- [22] A. Gosselin, Blackburn, M. Bergeron, Protocole d’évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l’aide des technologies minéralurgiques (Mars 1999).
- [23] Gérard Gillet Séparation magnétique : Théorie et modélisation (Techniques de l’Ingénieur - Mars 2003/J3 220), pp(2-5)
- [24] Gérard Gillet Séparation magnétique à basse et haute intensité (Techniques d l’Ingénieur - Juin 2003/J3 221), pp2(1-10)
- [25] Dj Merabet, M Bounouala, essai de traitement de la partie cuivreuse du minerai de fer de l’Ouenza(Algérie) pub les techniques 1999.
- [26] Pierre Blazy, El-Aïd Jdid- Flottation /Mécanismes et réactifs (Techniques de l’Ingénieur, traité Génie des procédés) 2005 (p : 1, 18,20)
- [27] Del villar, René, Procédés minéralurgiques/Chapitre 9. Flottation (cours -Département génie des mines, métallurgie et matériaux -Université Laval) p (1-3)
- [28] Pierre Blazy, El-Aïd Jdid- Flottation / Aspects pratiques (Techniques de l’Ingénieur, traité Génie des procédés) 2005 (p : 2, 20,21)
- [29] Pierre Seyer, Utilisation des diagrammes de «Contrôle de Qualité» dans la concentration mécanique des minerais (Revue de statistique appliquée, tome2, no1(1954)), p.51-55.
- [30] R. Houot & R. Joussemet -Criblage (Techniques de l’Ingénieur, traité Génie des procédés) 2005 (p 22).
- [31] J. Bloneau ; Élaboration et recyclage des métaux (Minerais et Fondants -Minerais de fer) Techniques de l’Ingénieur, M 7 040/2005
- [32] M. Bounouala (1988), Recherche et élaboration d’une technologie de traitement du minerai de fer cuivreux de l’Ouenza, *thèse magistère*, Université Badji Mokhtar de Annaba, 51-60pp.
- [33] A. Gosselin, Blackburn, M. Bergeron, Protocole d’évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l’aide des technologies minéralurgiques (Mars 1999).
- [34] Les principales influences sur l’acier par les éléments d’alliage et les impuretés
(www.plasturgie.net)