



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par :

CHIBANE YOUBA

KADDOUR AMINE

Thème

*Caractérisation et essai de traitement du
minerai de fer de sidi maarouf –
Jijel-*

Soutenu le 02 /07 /2023 devant le jury composé de :

Président	Mme SOUICI ZAHIA	M.C.A	U.A.M.B
Promoteur	Mr BOUABDALLAH SOUFIANE	M.C.B	U.A.M.B
Examineur	Mr LARACHI NASSIM	M.C.B	U.A.M.B

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

Nous remercions DIEU le tout-puissant de nous avoir aidé et fourni le courage nécessaire, qui nous ont permis de réaliser ce mémoire, qui est un aboutissement à de longues et difficiles années d'études universitaires.

De nombreuses personnes ont contribué scientifiquement intellectuellement ou techniquement à la rédaction de ce mémoire.

Que toutes les personnes qui ont participé à ce projet de près ou de loin en soient pleinement remerciées.

Nous exprimons notre grande reconnaissance et nos vifs remerciements à mon promoteur Mr **BOUABDALLAH SOUFIANE** pour la confiance, ses encouragements, et sa disponibilité tout au long de ce projet.

Nous remercions également Mme **SOUICI ZAHIA** pour avoir accepté de présider le jury de la soutenance, ainsi que Mr **LAARACHI NASSIM** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à : Mme **KICHER KAHINA**, et Mr **AYADE BRAHIM**, L'ensemble du personnel de laboratoire de Génie des procédés de l'université A. Mira de Bejaia, ainsi que les membres du laboratoire des mines de l'université Badji Mokhtar de Annaba, sans oublier les membres de l'unité de recherche scientifique en analyse physico- chimiques de Bejaia.

Enfin, nous remercions très vivement l'ensemble des enseignants du département des Mines et géologie et tous mes amis et collègues de promotion 2023.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents. A mes frères

A tous(tes) les enseignants qui ont contribué à ma formation.

A tous mes amis(es), collègues et camarades.

K. AMINE

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents. A mes frères et sœurs

A tous(tes) les enseignants qui ont contribué à ma formation.

A tous mes amis(es), collègues et camarades.

CH. YOUBA

Tableau de matière

Tableau de matière	I
Liste des tableaux	V
Liste des figures	VI
Liste d'abréviation.....	VIII
Introduction générale.....	2
I. ETUDE GEOLOGIQUE ET MINIRALOGIQUE DU GISEMENT DE FER SIDI MAAROUF	
1. Situation géographique du gisement de sidi Maarouf	5
2. Historique des travaux précédents.....	5
3. Géologie de la région.....	7
4. Géologie du gisement	8
4.1. Stratigraphie	8
4.1.1 Roches granitoïdes.....	9
4.1.2. Migmatites.....	10
4.2. Pétrographie.....	11
4.2.1. Minéralisation.....	11
4.2.2. Affleurement.....	12
4.2.3. Structures de localisation des amas de minerais	14
II. ANALYSES DE LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE SUR MINERAI DE FER	
1. Introduction	16
2. Minerai de fer.....	16
3. Types de minerais de fer	17

4. Production du minerai de fer en Algérie.....	21
5. Production mondiale du minerai de fer.....	21
6. Réserves mondiales	23
7. Prix de minerai de fer sur le marché mondial	23
8. Utilisation du minerai de fer	24
9. Procédés de séparation de minerais de fer	26
10. Traitement par lavage	26
10.1 Essais de lavage du minerai de fer.....	27
11. Séparation magnétique.....	27
11.1 Définition	27
11.2 Critères de choix des appareils	27
11.3 Types de séparation magnétique.....	29
11.4 Essais de séparation magnétique de fer.....	30
12. La séparation gravimétrique.....	30
12.1 Définition	30
12.2 Équipements de concentration gravimétrique	31
12.3 Essais de séparation gravimétrique du minerai de fer	32
13. Flottation	32
13.1 Principe et réactifs de la flottation	32
13.2 Essai de séparation par flottation de fer	33
III. MATERIEL ET METHODE	
1. Introduction	36
2. Méthodologie de travail	36

3. Echantillonnage	38
4. Analyse pétrographique (section polie)	38
5. Préparations des échantillons	38
5.1. Concassage	39
5.2. Homogénéisation de l'échantillon initial.....	39
5.3. Division de l'échantillon initial.....	39
5.4. Quartage.....	40
6. Caractérisation physico-chimique des échantillons.....	41
6.1. Analyse granulométrique par tamisage.....	42
6.2. Analyse granulo-chimique des échantillons par FRX	42
6.3. Analyse par Diffraction à rayon X (DRX)	43
7. Essais de d'enrichissement de fer de sidi maarouf.....	43
7.1. Lavage.....	43
7.2. Séparation magnétique à basse intensité des échantillons lavés.....	44
7.3. Séparation magnétique à haute intensité des échantillons lavés.....	45
IV. Résultats et Discussion	
1. Analyse granulométrique	48
2. Analyse pétrographique	51
3. Analyse des échantillons par DRX.....	54
4. Analyse granulo-chimique par FRX.....	55
4.1. Résultats de l'analyse par FRX pour l'échantillon brut.....	55
4.2. Résultats de l'analyse granulo-chimique par FRX pour le minerai de fer de sidi Maarouf.....	55

5. Lavage des échantillons	57
6. Analyse chimique par FRX de l'échantillons lavée	58
7. La séparation magnétique à basse intensité	59
8. La séparation magnétique à haute intensité	60
9. Conclusion.....	62
Conclusion Générale.....	63
Références Bibliographiques	66
Résumé	69

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Constitution minéralogique et chimique des affleurements	13
Tableau I.2 : Accumulations du minerai en profondeur	14
Tableau II.1 : Propriétés physico-chimiques du minerai de fer	17
Tableau II.2 : Principaux minéraux de fer et leurs caractéristiques	20
Tableaux II.3 : Principaux gisements de fer en Algérie par ordre décroissant des réserves en minerai de fer.....	21
Tableau II.4 : Production mondiale de minerai de fer par pays en 2021	22
Tableau II-5 : Réserves mondiales de minerai de fer brut par pays en 2021	23
Tableau IV-1 : Résultats de tamisage de minerai de fer de Sidi Maarouf Jijel.....	48
Tableau IV-2 : Résultats de l'analyse FRX pour l'échantillon brut.....	54
Tableau IV-3 : Résultats de l'analyse granulo-chimique par FRX pour le minerai de fer de Sidi Maarouf	55
Tableau IV-4 : Résultats de l'essai de lavage de minerai de fer de Sidi Maarouf	57
Tableau IV-5 : Résultats d'analyse chimique d'essai de lavage du minerai de fer de Sidi Maarouf par FRX	58
Tableau IV.6 : Résultats de séparation magnétique à basse intensité.....	59
Tableau IV.7 : Résultats de séparation magnétique à haute intensité (I=6A).....	60
Tableau IV.8 : Résultats de séparation magnétique à haute intensité (I=8A).....	60
Tableau IV.9 : Résultats de séparation magnétique à haute intensité (I=10A).....	61

Liste des figures

Figure I.1 : Image par satellite de la situation géographique du gisement sidi maarouf (Google earth).....	5
Figure I.2 : Localisation des principaux gîtes de fer du massif de Sidi Maarouf sur une image Google-Earth.....	12
Figure II.1 : Minerai d'Hématite	18
Figure II.2 : Minerai de Magnétite	18
Figure II.3 : Minerai de Goethite.....	18
Figure II.4 : Minerai de limonite	19
Figure II-5 : Minerai de Sidérite	19
Figure II-6 : Minerai de Pyrite	19
Figure II.7 : Production mondiale de minerai de fer de 2012 à 2021.....	22
Figure II.8 : Prix moyens mensuels du minerai de fer de 2012 à 2021	24
Figure III.1 : Schéma représente les différentes étapes pour la caractérisation de minerai de fer	37
Figure III.2 : Image des échantillons pris sur le site de gisement de sidi Maarouf.....	38
Figure III.3 : Image de concasseur à mâchoire de laboratoire de Mines et Géologie	39
Figure III.4 : Division de minerai de fer de sidi maarouf dans laboratoire de Mines et Géologie.....	40
Figure III.-5 : Etapes d'homogénéisation et quartage de minerai de fer de sidi maarouf...	41
Figure III.6 : Tamiseur de Type FRITSCH de laboratoire de Mines et Géologie.....	42
Figure III.7 : Etapes de lavage par tamisage humide de minerai de fer de sidi maarouf	44
Figure III.8 : Séparateur magnétique à basse intensité modèle de laboratoire de Mines et géologie.....	45
Figure III.9 : Image de séparateur magnétique à haute intensité pris dans l'université de Badji Mokhtar Annaba.....	46
Figure IV.1 : Courbe granulométrique des refus et tamisât de minerai de sidi maarouf.....	49

Figure IV.2 : Fe_2O_3 : Hématite, FeS_2 : Pyrite, LPNA G=x10.....	51
Figure IV.3 : Fe_2O_3 : Hématite, CuFeS_2 : Chalcopyrite, LPNA G=x10	51
Figure IV.4 : Fe_2O_3 : Hématite, Fe_2O_3 : Magnétite, LPNA G=x10	52
Figure IV.5 : Fe_2O_3 : Hématite, FeS_2 : Pyrite, $\text{FeO}(\text{OH})$: Goethite, LPNA G=x10.....	52
Figure IV.6 : Fe_2O_3 : Hématite, FeS_2 : Pyrite, CuFeS_2 : Chalcopyrite, LPNA G=x10 ...	53
Figure IV.7 : Analyse par DRX de l'échantillon brut de minerai de fer de sidi maarouf ...	54
Figure IV.8 : Résultats de l'analyse par FRX pour les échantillons tamisés	56
Figure IV.9 : Résultats de l'analyse FRX pour les échantillons lavés	59
Figure IV.10 : Schéma des étapes de traitement de minerai de fer de sidi maarouf.....	62

Liste d'abréviations

NE : Nord Est

SMBI : Séparation magnétique à basse intensité

SMHI : Séparation magnétique à haute intensité

HIMS: High intensity magnetic separation

DRX: Diffraction des rayons X

SFX : Spectrométrie de fluorescence des rayons

XFRX : Fluorescence X

CRAPC : Centre de Recherche en Analyse Physico-Chimique

PAF : Perte au feu

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'Algérie est un pays riche en divers substances utiles dont la majorité n'est pas encore mise en valeur, le sol Algérien contient des réserves importantes en différents métaux et minéraux, elle vient d'enregistrer un saut particulier dans son parcours économique en particulier le secteur minier qui vient de connaître un nouveau souffle de reprise à de nouvelles ambitions de développement, après avoir vécu une longue période d'extinction.

La forte demande de l'acier sur le marché national et international a entraîné un accroissement de la production du minerai de fer en vue de répondre aux besoins des complexes sidérurgiques du pays, en matière de production et de qualité [1].

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre général d'une caractérisation et d'essais de traitement du minerai de fer de Sidi-Maarouf-Jijel. Il vise à approfondir la compréhension des propriétés et des caractéristiques du minerai de fer provenant de gisement de Sidi Maarouf. En utilisant des techniques d'analyse et des essais expérimentaux, l'objectif est d'évaluer les différentes possibilités de traitement du minerai afin d'optimiser sa qualité et sa valeur commerciale. Ce travail de recherche contribuera à l'amélioration des connaissances dans le domaine du traitement du minerai de fer et fournira des informations précieuses pour le développement de schémas de traitement efficaces et économiquement viables.

Cette étude présente une démarche visant à améliorer la qualité du minerai de fer de Sidi Maarouf tout en réduisant la teneur en impuretés. Dans le but de résoudre et d'évaluer plus précisément la qualité des produits marchands de fer, cette étude repose sur trois volets principaux : un échantillonnage pour mieux comprendre les caractéristiques naturelles du minerai de fer, ensuite les échantillons prélevés sont soumis à une préparation mécanique (concassage, broyage et tamisage) et enfin, les échantillons représentatifs sont caractérisés par différentes méthodes d'analyse physico-chimiques et minéralogiques, afin de permettre l'application appropriée de techniques d'enrichissement.

Dans ce projet de fin d'études, nous avons développé les chapitres suivants :

Introduction générale

- Présentation du contexte et de l'importance du projet
- Objectifs de l'étude et problématique associée

Premier chapitre : La géologie du gisement de Sidi Maarouf

- Situation géologique du gisement
- Étude de la stratigraphie de la région
- Analyse de la genèse du minerai de fer à Sidi Maarouf

Introduction générale

Deuxième chapitre : ~~La littérature sur~~ Généralités et les méthodes de traitement du minerai de fer

- Généralités sur le minerai de fer
- Présentation des concepts et des techniques générales de traitement du minerai de fer
- Analyse des méthodes spécifiques utilisées dans d'autres gisements similaires

Troisième chapitre : Matériel et méthode

- Description du plan d'échantillonnage pour le minerai de fer de Sidi Maarouf
- Méthodes de caractérisation utilisées pour évaluer les propriétés du minerai
- Présentation des méthodes d'enrichissement sélectionnées pour le traitement du minerai de fer de Sidi Maarouf

Quatrième chapitre : Résultats et discussion

- Présentation et analyse des résultats de la caractérisation du minerai de fer de Sidi Maarouf
- Discussion des résultats des essais d'enrichissement réalisés
- Évaluation de l'efficacité des méthodes de traitement utilisées

Enfin, nous concluons le mémoire par une conclusion générale qui récapitule les principaux résultats obtenus, en proposant des recommandations pour des recherches futures dans le domaine du traitement du minerai de fer de Sidi Maarouf Jijel.

CHAPTRE I :
ETUDE GEOLOGIQUE ET
MINIRALOGIQUE DU
GISEMENT DE FER SIDI
MAAROUF

I. ETUDE GEOLOGIQUE ET MINERALOGIQUE DU GISEMENT DE FER SIDI MAAROUF

1. Situation géographique de gisement de sidi Maarouf :

Le massif de Sidi Maarouf est situé dans le NE de l'Algérie plus précisément dans la Petite Kabylie, à 85km au Nord-Ouest de Constantine, 15Km au Sud d'El-Milia et à 75Km au Sud Est de Jijel. (Fig.1). La région de Sidi Maarouf est traversée par la route nationale de Constantine El-Milia (RN 27) [2].

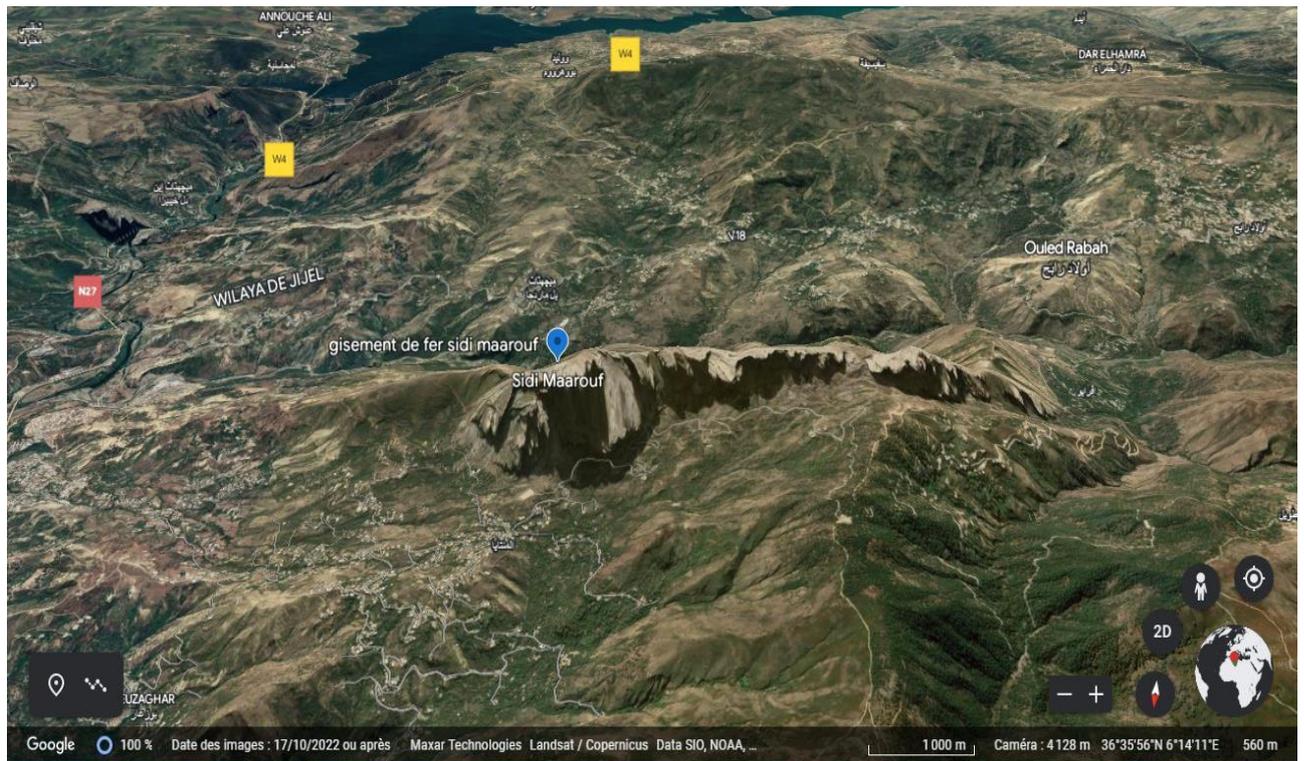


Figure I.1 : Image par satellite de la situation géographique de gisement sidi maarouf (Google earth).

2. Historique des travaux précédents

La minéralisation ferreuse contenue dans le calcaire liasique du massif de Sidi Maarouf est l'une des raisons pour lesquelles ce massif est le plus étudié par rapport aux autres massifs de la région. En effet, dès le 20^e siècle, M. Chauvet signale l'existence de minéralisations de cuivre et de fer dans les environs proches du massif de Sidi Maarouf, et la mine est en exploitation depuis 1910.

Des opérations minières ont été menées, après avoir connu des périodes d'arrêt, ce qui a permis la mise en place, en 1931, d'une ligne de chemin de fer de 90 km de Djidjelli

(Aujourd'hui Jijel) à Sidi Maarouf principalement pour le transport des minerais de fer des gisements de Sidi Maarouf et de Tissimiran vers le petit port de Jijel. C'était en 1955, deux mines étaient fermées à cause de la guerre de libération nationale. Pendant toute la période d'exploitation de la mine de Sidi Maarouf, environ 550 000 tonnes de minerai ont été extraites, principalement de la partie centrale du massif (mines de Kef El Hadid et Oum Sellet). La production annuelle maximale a été atteinte en 1953 avec une production de 91 000 tonnes.

En 1937, M. Boullot a édité un rapport contenant des données relatives à cette mine mais qui malheureusement est resté inédit,

Ainsi, le chiffre de 4 566 000 tonnes relatif aux réserves de ce gisement évalué en 1946, est donné dans les documents qui ont traité de cet aspect historique du gisement de Sidi Maarouf dont on ne peut connaître la source de ces données et dans quelles conditions ces réserves ont été estimées.

En tout état de cause, ce chiffre a jusqu'à présent été largement sous-estimé par rapport aux récentes estimations de réserves de la Sonarem (1974) et de Ferphos (2006) qui situent les réserves à environ 21 millions de tonnes.

Les aspects géologiquement pertinents du massif ont été décrits en détail par sonouvrage Durand Delga (1955) dans le cadre de sa thèse de doctorat intitulée « Étude de la géologie occidentale de la chaîne numide ».

Les aspects gîtologiques de la minéralisation ont été superficiellement examinés par J. Glaçon (1967) dans le cadre de sa thèse de doctorat intitulée « L'étude de la géologie et des mines de métaux du Tell sétifien ».

En 1968, le Service d'exportation industrielle de Roumanie a réalisé une étude économique-technique de plusieurs mines de fer algériennes. Pour Sidi Maarouf, la société a estimé les réserves à 1 500 000 tonnes pour les réserves probables et 1 000 000 tonnes pour les réserves possibles [2].

Au cours de la première moitié des années 1970, les sédiments de Sidi Maarouf et de Tissimiran ont fait l'objet d'une étude détaillée comprenant des aspects géologiques, climatologiques et géophysiques.

Les résultats de cette étude ont été consignés dans un rapport datant de 1974 et dans lequel les réserves du gisement étaient estimées à 21 millions de tonnes. Les derniers travaux d'exploration et de production menés en 2003-2006 par la Société nationale des mines de fer et de phosphate (Ferphos) ont également estimé les réserves à 21 millions de tonnes [1].

3. Géologie de la région

Pour aborder les problèmes concrets de la genèse et des perspectives des gisements il faut utiliser l'histoire géologique d'une région plus large sur la base d'une étude monographique comme celle de « Michel Durant Delga » [3,4].

Cette étude commence avec l'observation que les zones paléogéographiques et structurales essentielles d'Algérie sont allongées parallèlement à la côte méditerranéenne. Dans la région de Constantine on rencontre du Nord au Sud la zone de Kabylie représentée par le massif paléozoïque métamorphique de la petite Kabylie, charrié vers le Sud sur :

La zone sous Kabylie ou affleurent surtout des sédiments mésozoïques violemment disloqués où se trouvent les structures favorables pour l'accumulation des minerais de fer Sidi Maarouf, Tissimiran, M'cid Aicha. La zone tellienne, séparée de la précédente par un alignement d'accidents plus ou moins continus. Le cristallophyllien Cambro-ordovicien constitué par des roches d'un métamorphisme, généralement de faible profondeur est recouvert par le Gotlendien moins développé non métamorphique remaniant le cristallophyllien sur lequel il repose en discordance. Il a produit également un front de migmatites d'intense transformation qui démontrent un réchauffage supérieur à 100°, avec une implication probable sur la formation et la migration des fluides. Formation du massif granitique post- Burdigali à El Milia, cortège ultérieur de corps et phénomènes connexes, y compris la minéralisation par des sulfures, éventuellement par des oxydes de fer et des carbonates de fer.

Dans l'orogénèse alpine tardive, les strates jurassiques dures tectoniquement compétentes, comparées aux strates triasique et crétacée, ont percé la couverture crétacée comme suit :

- Écaille (Tissimiran)
- Klype (Sidi-maarouf)
- Horst (M'cid Aicha).

Si la minéralisation était antérieure à ces mouvements, les accumulations monteraient vers la surface. Cette tectonique, d'après les caractères minéralogiques du minerai a déterminé de profondes transformations et même des mobilisations.

Si la minéralisation était postérieure à ces mouvements la formation des accumulations aurait été facilitée par la multiplication des voies d'accès et des surfaces actives pour les réactions chimiques.

Un fort soulèvement se produit à la fin du Pliocène quaternaire. En conséquence, une partie des sédiments est apparue en surface et une oxydation sévère a affecté le couplage magmatique du minerai de fer des structures de Sidi Maarouf, Tisimiran et M'cid Aïcha à des profondeurs considérables.

Dans cette région, certaines connexions ne peuvent être établies que par des moyens indirects. La pointe du massif granitique d'El Milia s'étend vers le sud près de la structure Tisimiran, cependant, a diminué en étendue, montrant un approfondissement du massif au sud vers des structures minéralisées. Mais d'après l'anomalie ferromagnétique, il n'y a pas que le massif d'El Milia.

Il existe aussi d'autres massifs granitiques qui atteignent la surface mais restent toujours plus ou moins en profondeur [5].

4. GEOLOGIE DU GISEMENT

4.1. Stratigraphie

Dans la zone d'étude, on observe la formation de cycles structuraux du Calédonien à l'Alpin toutes ces formations peuvent avoir des implications différentes pour l'origine de la minéralisation du fer. Les cristallophylliens comprennent :

- Micaschistes (série inférieure) avec les intercalations de Hess vertes d'âge infracambrienne attribué par : M, D, Delga, mais qui n'affleurent pas dans notre région.
- Gneiss fins avec de grosses masses cipolins dans leur partie moyenne ou supérieures et parfois avec une barre de gneiss ocellés à leur base, d'âge géorgien Acadien.
- Gneiss ocellés attribués au cambrien supérieur ordovicien inférieur.

- Micaschiste (série supérieure) avec porphyroïdes inter stratifiés vers le haut surtout, d'âge ordovicien et niveau lenticulaires de calcaires dolomitiques ou de cipolins.

Le bloc tectonique ouest de la structure de Sidi Maarouf est à quelques dizaines de mètres de la masse cristalline de la Petite Kabylie, qui est constituée de trous mais sur la bordure sud se dispose un micaschiste gris de type pollen. Une analyse chimique de ces calcaires montre :

CaO = 46,27 % MgO = 0,59 % ; SiO₂ = 9,00 % ; Al₂O₃ = 1,95 % ; FeO = <0,1 % ; S = <0,1 % ; P = 0,03 %.

Géo chimiquement, la teneur élevée en silice est due aux processus de minéralisation du fer.

Le calcaire a une épaisseur d'environ 20 mètres et contient une minéralisation de limonite d'environ 2 mètres d'épaisseur.

Les minéralisations avaient eu des possibilités génétiques par la suite des processus tardifs qui ont affecté le cristallin [1].

4.1.1 Roches granitoïdes

A la limite cristallographique à 300 m de la structure de Sidi Maarouf, un mégalithe parabolique caractéristique d'une entaille granitique a été trouvé qui semblait faire directement face à la limite cristallographique du gneiss.

Une analyse microscopique démontre la présence d'un granite ~~son~~ altéré à texture massive et structure grenue sub-automorphes bien définis.

La carte apparaît sous forme de particules de forme irrégulière avec des contours réguliers et une annihilation roulante. Des impulsions très fines sont disposées sur des plans parallèles (plans de Boehme) à l'intérieur des particules, et les inclusions de biotite sont à peine observées.

Feldspath plagioclase sous forme de cristaux quasi-automorphes ou hétéromorphes

La morphologie cristallographique typique des contacts de quartz est toujours presque uniformément entrecoupée de minéraux argileux et de fins flocons de séricine.

Plus rarement, une tendance des flocons de séricite à s'aligner parallèlement à eux peut également être observée. Plan de clivage. Les jumeaux sont particulièrement bons en poly

synthèse. Les jumeaux albite de Karlovy Vary sont rarement vus. Des plans et des courbes de torsion apparaissent parfois dans les plans jumeaux, accentuant les contraintes crustales ultérieures.

Le feldspath potassique est toujours irrégulier et hétérogène, entrecoupé de minéraux argileux sous forme de nids. Ceux-ci peuvent être traversés par les fines veines du filet utilisé par les serriculteurs.

La muscovite se présente sous deux aspects :

-Cristaux xénomorphes bien développés parmi les feldspaths plagioclases.

Parfois, ils sont évidemment courbés. Des cristaux tabulaires fortement pigmentés avec de l'hydroxyde de fer forment dans certains cas, de petits nids associés à ces muscovites. C'est probablement une alternative à la biotite.

-L'apatite sous forme de petits grains sub-automorphes qui se trouve comme minéral accessoire, Cette description minéralogique assez détaillée a été faite à cause de l'importance du problème. Les roches granitoïdes se trouvent au Cristallin à l'Ouest et à l'Est de l'Oued el Kebir.

La roche décrite est semblable à un granitoïde à feldspath potassique et plagioclase dans lequel le quartz est toujours abondant. Les plagioclases partiellement séricitisés, parfois avec une antipertité de feldspath potassique, et où le mica est de la biotite parfois en excès de fer proviennent aussi du mica blanc.

La muscovite forme parfois des liaisons micro-pagmatitiques avec le plagioclase. Parmi les feldspaths, il s'agit d'un microcline à macles pointues, et parmi les minéraux accessoires on remarque la présence d'apatite.

Dans cette situation il faut conclure qu'à proximité de la structure sidi Maarouf, des roches granitoïdes ont pu avoir un rôle de source en élément fer par l'exsudation la migration [1].

4.1.2 Migmatites

La croissance de l'ambrechite oculaire, l'arrangement du granitoïde et l'apparition d'un métamorphisme de contact à la bordure sud du Cristal à proximité de la structure de Sidi Maarouf sont illustrés par : M, D, Delga sont des processus en mouvement.

Les phénomènes se présentent dans la région avant de la répulsion cristalline sur les sédiments mésozoïques et montrent également un réchauffement d'environ 100 C. Le front

migratoire s'accompagne de la concentration feldspathique L'enrichissement ferromagnétique se manifeste par la formation de biotite et la migration du bore uniquement à conduit à l'apparition de fines couches de tourmalines.

Les processus peuvent être impliqués plus du moins dans la minéralisation enfer des calcaires du Lias inférieur-moyen, par intermédiaire des solutions ferromagnésiennes et la migration du bore [1].

4.2. Pétrographie

4.2.1. Minéralisation

Le gisement de fer de Sidi Maarouf a été découvert au début du XXe siècle et a commencé ses opérations en 1910. La quantité de minerai extrait pendant 45 ans d'activité minière souterraine et à ciel ouvert (1910-1955) a été estimée à 550 000 tonnes, avec la production annuelle la plus élevée de 91 000 tonnes en 1953. Cette quantité a été principalement produite par les mines de Kef El Hadid et Aum Seret (Figure I.2).

Les réserves en 1946 s'élevaient à 4 566 000 tonnes, estimées uniquement à partir des opérations minières de l'époque. Ces réserves ont été révisées à la baisse en 1968 par une étude technico-économique réalisée par "Romanian Industrial Exports". Les chiffres donnés par cette société sont de 1 500 000 tonnes de réserves récupérables et 1 000 000 de tonnes de réserves récupérables. En 1974, la Sonarem (Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minière) estimait la ressource potentielle de l'ensemble du massif à environ 21 millions de tonnes (Mt). Pas plus tard qu'en 2006, Ferfos estimait les réserves à 21 millions de tonnes dans la seule partie centrale du massif.

Compte tenu de cette courte histoire, les réserves les plus importantes se trouvent dans la partie centrale du massif, les gisements d'Oum Seret, Kef El Hadid et Akern (Figure I.2).

. La propriété Aum Seret est située au niveau le plus à l'est du compartiment ouest et la propriété Kef El Hadid est située au niveau le plus à l'ouest du compartiment central à environ 100 mètres à l'est de la propriété Aum Seret. Le gisement d'Akern est situé dans le bloc central à environ 300 m à l'est du gisement de Kef El Hadid (Figure I.2) [2].

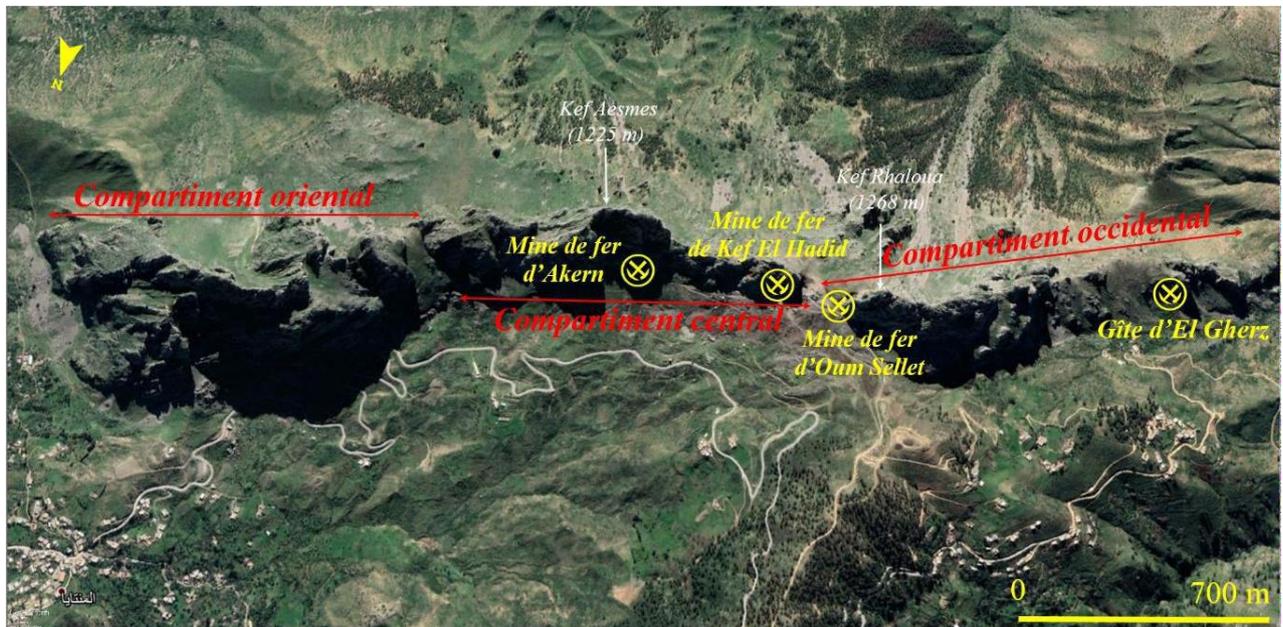


Figure I.2 : Localisation des principaux gîtes de fer du massif de Sidi Maarouf sur une image Google-Earth

4.2.2. Affleurement

Dans le sidi Maarouf et son extension, presque partout où les formations de lias bas-moyen affleurent, on trouve des affleurements minéralisés. La première position est la structure de sidium de Maarouf avec les affleurements de minerai de fer les plus forts et les plus abondants, puis la structure de Tissimiran avec 18 affleurements de zones de minéralisation de fer ou de zones hydrothermales et la structure de Mcid aicha avec 7 types de minéralisation de fer et 8 catégories sont plus importantes pour structures mais les teneurs de minéralisation en fer représentent des concentrations plutôt méta génomiques de goethite dans le chapeau de fer de la minéralisation plus profonde.

Cependant, il faut mentionner quelques affleurements de minerai de fer sur de petits blocs du lias de la Loi du Milieu situés entre Sidi Maarouf et Tissimiran, toujours près du bord cristallin et en contact direct avec les trias diasporiques le long de la profonde faille chevauchante du bloc. Les cristaux forment le mésozoïque.

Lorsque la minéralisation est exposée sous forme de calcaire dolomitique, de limonite fortement cristalline, souvent avec des nids et des chaînes de barytine et de calcite, l'accumulation de minerai est considérée comme étant à une profondeur de plusieurs dizaines de mètres ou même plus profondément.

A Tissimiran tous les affleurements sont de ce type, un autre étant le minerai de fer lui-même ayant une forte teneur en fer, toujours avec des nids enfilés de barytine et de calcite

parfois entourés de calcaires béchiques limonites forts et aussi par d'importantes lacunes karstiques, surtout au sommet.

Ces affleurements atteignent de fortes concentrations de barytine. La surface moyenne de l'affleurement est de 75 m² en pointe et de 82 m² en pointe de colonne. Le dôme de l'amas de minerai s'élève vers la pointe du minerai et est entouré d'importantes cavités karstiques contenant des stalactites, des stalagmites, de la calcite idéale, etc. incrustées autour de lui...

Synthétiquement la fréquence et la puissance des affleurements par types morphologiques sont présentées dans le tableau I-1 [5] :

Tableau I.1 : Constitution minéralogique et chimique des affleurements [5]

Caractère Morphologique	Nombre d'affleurements	Surface totale (m ²)	Surface moyenne (m ²)
Coupole d'amas	8	16530	2066
Apophyse colonne	38	3229	≈ 82
Apophyse filonienne	27	2036	≈ 75
Filon	7	226	≈ 32
Nids	60	113	≈ 2
Zone	hydro thermalisation	16	
Total		22,134	

La constitution minéralogique et chimique des affleurements comporte des variations sensibles entre les types morphologiques.

Le calcaire de la limonite est une roche tectonique cristalline et partiellement minéralisée par des oxydes de fer, la teneur en fer atteignant 17-22%, dans les nids laminéralisation est plus intense et peut-être la teneur en fer atteint environ 30%.

A l'ancienne carrière de Tissimiran en procédé quasi-tas, la teneur en fer était de : 17,14% - 56,36% avec une moyenne d'environ 37%.

A sidi Maarouf au niveau des analyses reçues on peut suivre la variation chimique sur la verticale des coupoles comme le montre le tableau I-2 [5].

Tableau I.2 : Accumulations du minerai en profondeur [5]

Profondeur (m)	Eléments (%)										
	Cu	Fe	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	S	H ₂ O	PO	As
≈ 5 m au-dessous de la coupole de l'amas	0,55	44,19	4,61	0,49	5,48	0,65	2,51	0,07	0,56	0,35	0,12
≈ 10 m au-dessous l'amas	0,37	51,45	4,12	0,78	2,15	0,51	2,57	0,09	0,92	0,24	0,10

Les données au niveau des affleurements supérieurs démontrent la tendance générale de concentration du fer vers les grandes accumulations du minerai en profondeur.

Cependant, il faut considérer les implications du super gène de la région d'oxydation profonde pour les concentrations de fer qui, en général, peuvent ne pas être d'une grande importance pour les minerais d'oxyde de fer. Mais cette question sera analysée lors de la présentation minéralogique des amas [5].

4.2.3. Structures de localisation des amas de minerai

Sur les huit arches à minerai exposées, seules quatre sont connues plus ou moins à travers les anciens travaux miniers de Sidi Maarouf.

A Tissimiran, une masse connue en profondeur est réfléchiée en surface par des régions hydrothermales. Sur la base de cette connaissance directe des facteurs de contrôle géologique et des gisements ou régions hydrothermales, d'autres volumes issus d'activités antérieures ont été expliqués. Les données obtenues n'étant pas uniformément distribuées, l'analyse géologique des amas sera effectuée simultanément sur les plans morphologique, minéralogique et chimique [1].

CHAPITRE II :

Analyses de la littérature scientifique sur le minerai de fer

II. Analyses de la littérature scientifique sur le minerai de fer

1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de fournir un bref aperçu des généralités sur le minerai de fer et d'estimer l'importance de cette matière naturelle dans l'industrie. Il aborde les différents types de minerai de fer en fonction des éléments qui l'accompagnent, ainsi que son origine et son processus de formation. De plus, une attention particulière est portée aux types de gisements de minerai de fer et une brève description des méthodes de traitement utilisées.

Le chapitre débute en mettant en évidence l'importance du minerai de fer dans l'industrie, en soulignant son rôle clé dans la production d'acier et d'autres produits métallurgiques. Il met également en évidence les propriétés et caractéristiques du minerai de fer qui en font une ressource précieuse. Le chapitre se penche ensuite sur les méthodes de traitement du minerai de fer. Il présente une brève description des différentes techniques utilisées, telles que la séparation magnétique, la séparation gravimétrique et la flottation.

Chaque méthode est expliquée dans son contexte et ses avantages sont discutés en fonction des objectifs de traitement visés.

2. Minerai de fer

Le fer est l'élément parmi les éléments les plus abondants dans la nature, il constitue 4,7 % en masse de la croûte terrestre. Les minéraux contenant du fer les plus utilisés et qui permettent d'extraire les composés du fer comprennent : l'hématite Fe_2O_3 ; la magnétite Fe_3O_4 et beaucoup moins d'importance : la limonite, $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; sidérite FeCO_3 ; pyrite FeS_2 , où ces pourcentages de fer sont à l'état pur.

Les propriétés physiques et chimiques de minerai de fer sont réunies dans le tableau II-1 [6].

Tableau II.1 : Propriétés physico-chimique de minerai de fer [6].

Nom	Fer
Symbole	Fe
Numéro atomique	26
Famille d'éléments	Métal de transition
Masse molaire	55,845 g/mol
Masse volumique	7874kg.m ⁻³
Point de fusion	1 540 °C, 1808 K
Point d'ébullition	2 750 °C, 3023 K
Densité	(5-6) g /Cm ³
Rayon atomique	126 pm
Système cristallin	Cubique centré
Dureté	(4-5)
Volume molaire	7,09×10 ⁻⁶ m ³ /mol
Pression de vapeur	7,05 Pa
Vitesse du son	4910 m/s à 20 °C
Ions	Fe ²⁺ , Fe ³⁺

3. TYPES DE MINÉRAIS DE FER

Effectivement, le fer est l'un des éléments les plus abondants dans la nature et constitue environ 4,7 % en masse de la croûte terrestre. Les espèces minéralogiques constituant la masse essentielle des minerais de fer sont peu nombreuses et assez différenciées du point de vue physique pour être aisément reconnues. la classification de minerais de fer fournit généralement des indications sur plusieurs caractéristiques du minerai telles que sa dureté, sa porosité, sa teneur en fer et sa teneur en produits volatils [7,8]

L'hématite (Fe₂O₃) : Il s'agit d'un oxyde de fer rouge foncé ou noir qui est la source de fer la plus courante utilisée dans l'industrie. Elle est souvent utilisée comme minerai de fer pour la production d'acier.



Figure II.1 : Minerai d'hématite

La magnétite (Fe_3O_4) : Également connue sous le nom de magnétite noire, c'est un autre oxyde de fer qui possède des propriétés magnétiques. Elle est souvent utilisée comme minerai de fer et dans la production d'aimants.



Figure II.2 : Minerai de Magnétite

Goethite ($FeO(OH)$) : La goethite est un hydroxyde de fer ($FeO(OH)$) de couleur brune, jaunâtre ou noire. Elle fait partie de la famille de la limonite. On rencontre souvent la goethite associée à l'hématite, la goethite se transforme d'ailleurs en hématite si elle est chauffée. C'est pourquoi lorsque la quantité est suffisante ce minerai peut être exploité commercialement.



Figure II.3 : Minerai de goethite

La limonite ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) : Elle est composée d'hydrate de fer et est généralement de couleur brun jaunâtre. Bien qu'elle soit moins importante en termes de quantité, elle est parfois utilisée comme minéral de fer.



Figure II.4 : Minéral de limonite

La sidérite (FeCO_3) : Il s'agit d'un carbonate de fer qui se présente sous forme de minéraux généralement de couleur gris clair à brun. Elle est moins couramment utilisée que l'hématite et la magnétite.



Figure II.5 : Minéral de sidérite

La pyrite (FeS_2) : Connue sous le nom de "l'or des fous" en raison de sa ressemblance avec l'or, ce sulfure de fer est souvent trouvé dans des gisements minéraux. Cependant, en raison de sa teneur élevée en soufre, elle n'est pas une source significative de fer.



Figure II.6 : Minéral de pyrite

Il existe à travers le monde un nombre important de roches contenant du minéral fer. Elles sont en général réparties en plusieurs catégories : les minéraux oxydés, les carbonates, les minéraux sulfurés et les silicates. Le tableau suivant montre les principaux minéraux de fer et leurs caractéristiques [9] :

Tableau II.2 : Principaux minéraux de fer et leurs caractéristiques [9]

Minérai	Répartition chimique	Couleur	Caractéristiques
Minerais oxydés			
Magnétite (Fe ₃ O ₄)	72,36% fer 27,64 % oxygène	Gris foncé à noir	C'est une roche très magnétique. Elle a pris de plus en plus d'importance avec le développement des techniques de concentration magnétique et l'utilisation accrue de produits de haute qualité.
Hématite (Fe ₂ O ₃)	69,94% fer 30,06% oxygène	Gris acier à rouge vif	L'hématite est l'un des principaux minerais de fer. Cette roche possède une dureté qui peut aller de 5,5 à 6,5 selon la famille à laquelle elle appartient. C'est la forme de roche la plus répandue à la surface de la terre et c'est également celle qui est le plus souvent Employée dans l'industrie.
Limonite (ou hématite brune) (HFeO ₂)	62,85% fer 27,01% oxygène 10,14% eau	Jaune ou marron, parfois noir	Les limonites sont également une source importante de minerais à travers le monde. Elles sont à la fois oxyde et hydroxyde de fer. La goethite qui est une sorte de limonite se rencontre souvent en association avec de l'hématite.
L'ilménite (FeTiO ₃)	36,80% fer 31,57% titane 31,63% oxygène	noir	On la rencontre parfois en association avec de petites quantités de magnétite. Elle est généralement exploitée pour le titane qu'elle contient. Le minérai de fer peut être alors extrait en tant que sous-produit au cours du traitement de la roche. Contrairement à l'hématite ou à la magnétite, cette roche n'est pas magnétique.
Les carbonates			
Sidérite (FeCO ₃)	48,20% fer 37,99% CO ₂ 13,81% oxygène	Blanc à gris vert, elle peut virer au brun, en présence d'humidité	Les sidérites contiennent en général une proportion assez variable de calcium, magnésium ou manganèse.
Les silicates			
chamosite, stilpnomélane, greenalite, minnesotaite, grunerite.	Les minerais de ce type, bien que d'une importance assez limitée en tant que tels pour la production de minérai de fer, présentent un certain intérêt en tant que source de minerais oxydés.		
Les sulfures			
pyrite (FeS ₂)	46,55% fer 53,45% soufre	Jaune cuivré	Cette roche est souvent connue sous le nom d'or des fous du fait de sa grande ressemblance avec l'or. Elle est la roche contenant du minérai de fer la plus répandue. Comme l'ilménite, elle n'est souvent pas exploitée pour le fer qu'elle contient mais pour sa teneur en soufre. Le fer en est le sous-produit le plus communément extrait.
Pyrrhotite	60,4% fer 39,6% soufre	Bronze	
Marcasite			

4. Production de minerai de fer en Algérie

Le fer est l'une des principales ressources minérales de l'Algérie et l'exploitation du minerai de fer a toujours occupé une place prépondérante dans l'industrie minière du pays.

Le tableau suivant montre les principaux gisements de fer en Algérie [11] :

Tableaux II.3 : Principaux gisements de fer en Algérie par ordre décroissant des réserves [11]

Gisement	Réserves géologiques (millions tonnes)	Teneur de fer (%)
Gara-Djebilet	1540	56
Mecheri-Abdelaziz	702	52
l'Ouenza	80,3	59,5
Sidi maarouf	55	44,18
Boukhadra	41,7	48
Beni Saf	15,3	53
AïnMokra	5,7	52
Aïn Babouche	4,2	40
Anini	3,7	55
Rouina	2,8	40
Chaâbat El Ballout	2,5	53

5. Production mondiale du minerai de fer

Le tableau suivant montre La production mondiale de minerai de fer par pays en 2021 [11] :

Tableau II.4 : Production mondiale de minerai de fer par pays en 2021[11]

Classement	Pays	Minerai en millions de tonnes	Minerai en (%)
1	Australie	900	34,6
2	Brésil	380	14,6
3	Chine	360	13,8
4	Inde	240	9,2
5	Russie	100	3,8
6	Ukraine	81	3,1
7	Kazakhstan	64	2,5
8	Afrique du Sud	61	2,4
9	Canada	57	2,3
10	Iran	50	1,9
/	Autres pays	244	9,6

La figure suivante montre la production mondiale de minerai de fer entre 2012 et 2021 [11] :

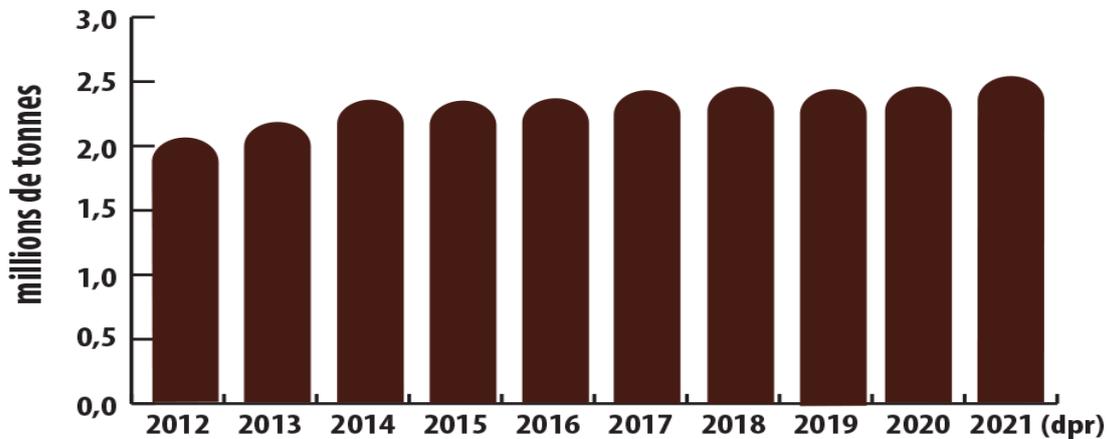


Figure II.6 : Production mondiale de minerai de fer entre 2012 et 2021 [11]

Ce graphique à barres illustre la production mondiale annuelle de minerai de fer de 2012 à 2021. La production a atteint 2 070 millions de tonnes en 2012, puis a augmenté à 2 369 millions de tonnes en 2014.

La production a ensuite chuté en 2015 à 2,365 millions de tonnes, mais s'est redressée et a progressivement augmenté pour atteindre 2,470 millions de tonnes en 2018.

La production de minerai de fer a chuté en 2019 à 2 450 millions de tonnes, mais a rebondi à 2 472 millions de tonnes en 2020 et un sommet de 2 537 millions de tonnes en 2021[16].

6. Réserves mondiales

Le tableau suivant montre les réserves mondiales de minerai de fer brut par pays en 2021 [11] :

Tableau II-5 : Réserves mondiales de minerai de fer brut par pays en 2021[11]

Classement	Pays	Minerai (Millions de tonnes)	Minerai en (%)
1	Australie	51 000	28,5
2	Brésil	34 000	19
3	Russie	25 000	13,9
4	Chine	20 000	11,2
5	Ukraine	6 500	3,6
6	Canada	6 000	3,3
7	Inde	5 500	3,1
8	États-Unis	3 000	1,7
9	Iran	2 700	1,5
10	Pérou	2 600	1,5
/	Autres pays	22 930	12,8

7. Prix du minerai de fer sur le marché mondial

Les prix du minerai de fer ont énormément fluctué au cours de la dernière décennie, culminant à 214 \$/tonne en juin 2021 et culminant à 41 \$/tonne en décembre 2015.

En 2021, les prix ont continué de grimper pour atteindre un sommet de 214 \$/mt en juin, puis ont chuté rapidement à 116 \$/mt en décembre. La chute rapide des prix a coïncidé avec une baisse de la demande de minerai de fer des producteurs d'acier de la région.

La figure suivante montre les prix moyens mensuels du minerai de fer entre 2012 et 2021 [11] :

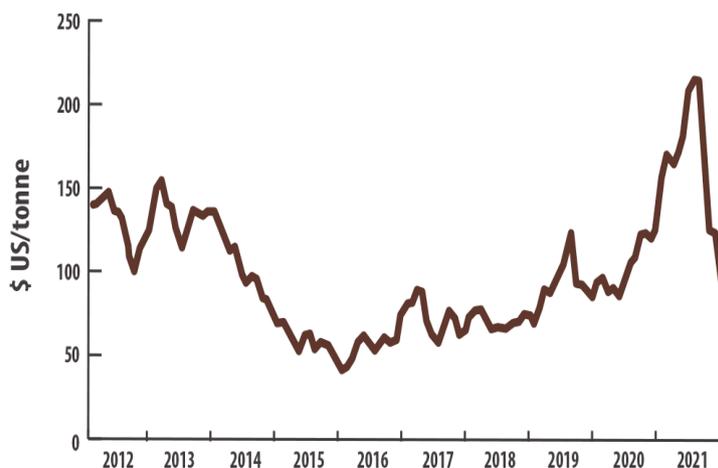


Figure II.7 : Prix moyens mensuels du minerai de fer de 2012 à 2021[11]

CHAPITRE II : ANALYSES DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE SUR LE MINÉRAI DE FER

Ce graphique linéaire illustre le prix mensuel moyen par tonne de minerai de fer en dollars américains de 2012 à 2021. Sur la base des données d'importation de la Chine pour le prix annuel moyen du minerai de fer fin à 62 % (prix du fer au comptant) en dollars américains par tonne - CFR au port de Tianjin), le prix moyen était de 128,53 dollars US en 2012.

Le prix est tombé à 99,47 \$ en septembre 2012, avant de connaître une hausse à court terme à la fin de 2012 et au début de 2013. La tendance à la baisse s'est poursuivie jusqu'à la fin de 2015, lorsque les prix ont atteint un creux de 40,88 \$.

Les prix du minerai de fer se sont ensuite modérément redressés en 2016 et 2017 pour atteindre 89,44 \$ US en février 2017 avant de retomber à 72,25 \$ US en fin d'année. Début 2019, le prix était de 76,16 \$US. Il est ensuite passé à 120,24 \$ en juillet. Il a reculé et a oscillé autour de 90,00 \$ US jusqu'en mai 2020.

Le prix a ensuite remonté pour atteindre un sommet de la décennie de 214,43 \$ US en juin 2021. Puis, il est tombé rapidement à un creux en novembre 2021, à 96,24 \$ US la tonne. Le prix se redresse légèrement pour atteindre 116,96 \$ en décembre 2021 [11].

8. Utilisation du minerai de fer

Le fer est le métal le plus utilisé : il représente 95 % de la production mondiale de métaux non ferreux. Le fer a des applications pratiquement illimitées. Aujourd'hui, l'utilisation la plus courante du fer est dans la fabrication de métal, d'outils, de machines ou de véhicules. Le seul problème avec le fer est qu'il rouille, d'où son utilisation dans les alliages.

Les principaux alliages avec le fer sont [12] :

- La fonte : fer + carbone (à plus de 2,1% en masse de carbone)
- L'acier : fer + carbone (à moins de 2,1% en masse de carbone)
- L'acier inoxydable : fer + carbone + chrome et parfois nickel, molybdène et vanadium.

L'utilisation du minerai de fer est très répandue dans de nombreux domaines, principalement dans l'industrie sidérurgique. Le minerai de fer est principalement utilisé pour produire de l'acier (98%). Les 2% restants sont utilisés dans diverses applications [13].

Quelques utilisations courantes du minerai de fer :

- ✓ Production d'acier : Le minerai de fer est la principale matière première utilisée dans la production d'acier. Il est transformé en fonte dans un haut fourneau, puis cette fonte est affinée pour obtenir de l'acier. L'acier est utilisé dans la construction, l'automobile, les appareils ménagers, les infrastructures, etc.

- ✓ Fabrication de produits en fonte : Une partie du minerai de fer est utilisée pour produire des objets en fonte tels que des pièces de machines, des tuyaux, des blocs moteurs, des plaques de cuisson, etc.
- ✓ Ferroalliages : Le minerai de fer est également utilisé dans la production de ferroalliages, qui sont des alliages de fer et d'autres éléments tels que le manganèse, le chrome, le nickel, etc. Ces alliages sont utilisés dans la fabrication d'acier spécialisé avec des propriétés spécifiques, comme l'acier inoxydable.
- ✓ Fabrication d'articles ménagers : Le minerai de fer est utilisé pour fabriquer une variété d'articles ménagers tels que des ustensiles de cuisine, des clous, des vis, des outils, des barres de fer, des fils de fer, etc.
- ✓ Secteur de l'énergie : Le minerai de fer est utilisé dans la production d'énergie, notamment dans la fabrication d'éoliennes et de générateurs éoliens. Les aimants permanents utilisés dans ces éoliennes contiennent du minerai de fer.
- ✓ Infrastructure et construction : Le minerai de fer est utilisé dans la construction d'infrastructures telles que les ponts, les voies ferrées, les bâtiments, les gratte-ciels, etc.

Ces utilisations ne sont qu'un aperçu des nombreuses applications du minerai de fer. Sa disponibilité abondante et ses propriétés physiques en font un matériau précieux dans diverses industries à travers le monde.

9. Procédés de séparation du minerai de fer

L'enrichissement du minerai de fer est un processus essentiel pour transformer le minerai brut en un produit commercialisable et utilisable dans divers secteurs industriels. Ce processus comprend une série d'opérations physiques et chimiques visant à éliminer les impuretés présentes dans le minerai extrait. Le but principal de l'enrichissement est d'améliorer la concentration de fer (exprimée en teneur en Fe_2O_3) en réduisant la quantité d'éléments de la gangue considérés comme des impuretés. Les impuretés courantes dans le minerai de fer comprennent le silicium, l'aluminium, le soufre et le phosphore. Ces impuretés peuvent affecter négativement les propriétés du minerai et du produit final, donc leur élimination est essentielle pour obtenir un minerai de fer de qualité.

L'enrichissement du minerai de fer est une étape cruciale pour éliminer les impuretés et augmenter la concentration de fer. Cela permet d'obtenir un produit marchand de qualité, utilisé dans divers secteurs industriels tels que la construction, l'automobile et la fabrication d'acier.

10. Traitement par lavage

Le lavage est une méthode de traitement essentielle pour améliorer la qualité des roches et des minéraux. Il s'agit du processus le plus simple et efficace pour éliminer les contaminants de surface tels que l'argile, la poussière et les matières organiques. Les contaminants peuvent se trouver attachés à la roche ou à la surface minérale, réduisant ainsi que la qualité et la pureté des matériaux extraits

Le lavage est un procédé simple et efficace pour concentrer le minerai de fer en séparant les minéraux ferrifères des gangues siliceuses. Ce processus se base sur la différence de densité et de taille entre ces composants. Les minéraux ferrifères, qui sont plus denses et de taille plus élevée, sont séparés des gangues qui contiennent principalement des minéraux de quartz et d'argile. Ainsi, le lavage permet d'obtenir un concentré de minerai de fer de bonne qualité en éliminant les impuretés et en augmentant la teneur en fer [6].

10.1. Essais de lavage du minerai de fer

L'étude menée par CHAABIA R [6] en 2016 avait pour objectif de traiter le minerai de fer d'Anini en utilisant une méthode de lavage par tamisage humide. Les fractions de taille sélectionnées étaient les suivantes : (+4mm), (-4+2 mm), (-2+1mm) et (-1+0,5mm). Les résultats des analyses chimiques obtenues après le lavage ont révélé plusieurs observations intéressantes. Tout d'abord, une augmentation significative de la teneur en fer a été constatée, atteignant 61,98%. En revanche, une baisse considérable de la teneur en silice de l'ordre de 2,36% et de l'alumine de 3,33% a été observée. Ces résultats indiquent que le procédé de lavage par tamisage humide a permis de concentrer le minerai de fer en éliminant une partie des impuretés, notamment la silice et l'alumine.

Cependant, une analyse plus approfondie des résultats a montré que des pourcentages élevés de silice (37,37%) et d'alumine (10,69%) ont été récupérés dans la fraction passant à travers les tamis.

11. Séparation magnétique

11.1. Définition

Les techniques de séparation magnétique sont utilisées dans le traitement du minerai de fer pour séparer les particules en fonction de leurs propriétés magnétiques. Cela permet de concentrer les particules magnétiques riches en fer et d'éliminer les particules non magnétiques, améliorant ainsi la qualité du produit final. Les particules magnétiques sont fortement attirées par un champ magnétique et sont facilement séparables. Elles sont généralement riches en fer et constituent le produit de valeur recherché. Ces particules peuvent être extraites à l'aide d'un séparateur magnétique à aimants permanents ou électromagnétiques. Le minerai de fer présentant une forte susceptibilité magnétique est souvent traité par séparation magnétique à basse intensité, tandis que les minéraux ferromagnétiques plus faiblement magnétiques sont séparés par séparation magnétique à haute intensité.

11.2 Critères de choix des appareils

Lors du choix d'un séparateur magnétique pour un processus de traitement spécifique, plusieurs critères communs doivent être pris en compte. Ces critères permettent d'assurer une séparation efficace et optimale des particules en fonction de leurs propriétés magnétiques.

On cite certains de ces critères :

- ✓ Propriétés magnétiques des particules : Il est essentiel de comprendre les propriétés magnétiques des particules à séparer, telles que leur susceptibilité magnétique, leur coercivité et leur rémanence. Cela permet de déterminer quel type de séparateur magnétique convient le mieux pour capturer ou rejeter les particules en fonction de leurs caractéristiques magnétiques.
- ✓ Taille des particules : La taille des particules à traiter peut influencer le choix du séparateur magnétique. Certains séparateurs sont plus adaptés aux particules fines, tandis que d'autres sont plus efficaces pour les particules plus grosses. Il est important de sélectionner un séparateur qui convient à la plage de tailles de particules à traiter.

- ✓ Débit de traitement : Le débit de traitement nécessaire est un facteur important dans le choix du séparateur magnétique. Certains séparateurs sont conçus pour des débits plus élevés, tandis que d'autres sont plus adaptés aux débits plus faibles. Il est essentiel de choisir un séparateur qui peut gérer le débit requis pour le processus de traitement spécifique.
- ✓ Intensité du champ magnétique : L'intensité du champ magnétique joue un rôle crucial dans l'efficacité de la séparation magnétique. Différents séparateurs magnétiques offrent des niveaux d'intensité magnétique variables. Il est important de sélectionner un séparateur avec une intensité de champ magnétique appropriée pour assurer une séparation efficace des particules magnétiques.
- ✓ Coût et entretien : Le coût du séparateur magnétique et les exigences d'entretien doivent également être pris en considération. Certains séparateurs peuvent nécessiter des coûts d'installation et d'exploitation plus élevés, tandis que d'autres sont plus abordables. De même, il est important de tenir compte des exigences d'entretien, telles que le nettoyage régulier du séparateur, pour assurer son bon fonctionnement et sa durabilité à long terme.
- ✓ Conditions de fonctionnement : Les conditions de fonctionnement, telles que la température, l'humidité et l'environnement chimique, peuvent influencer le choix du séparateur magnétique. Certains séparateurs sont mieux adaptés à des conditions spécifiques et peuvent nécessiter des matériaux de construction ou des revêtements spéciaux pour résister à ces conditions.

11.3. Types de séparation magnétique

11.3.1 Séparation magnétique à basse intensité (SMBI)

La séparation magnétique à basse intensité est une technique utilisée dans le traitement des minerais de fer pour séparer les particules magnétiques des particules non magnétiques. Cette méthode repose sur les propriétés magnétiques des minéraux de fer et leur réponse aux champs magnétiques.

Le processus de séparation magnétique à basse intensité implique l'utilisation d'un champ magnétique relativement faible, le dispositif couramment utilisé est un aimant permanent qui fonctionne normalement dans un champ magnétique ouvert, c'est-à-dire que les lignes de champ magnétique se referment dans un milieu magnétique peu perméable, air ou eau. L'aimant utilisé possède un champ magnétique profond (attraction à distance) ou non (épuration ou concentration minérale) selon la cible de séparation. L'intensité du champ varie de 80 à 160 kA/m [6].

11.3.2 Séparation magnétique à haute intensité (SMHI)

La séparation magnétique à haute intensité est utilisée pour traiter des matériaux magnétiques faibles, grossiers ou fins, en voie humide ou sec, le générateur de champ magnétique est un circuit de champ magnétique fermé conventionnel d'une intensité comprise entre 400 kA/m et 1600 kA/m ou des aimants permanents mâles à haute énergie spécifique (alliages céramiques).

L'alimentation du dispositif de séparation à haute résistance ne doit pas contenir un pourcentage trop élevé de particules ferromagnétiques ou ferromagnétiques (< 0,5 %). Il est recommandé de faire d'abord passer l'alimentation par un séparateur magnétique à faible courant [6].

11.3.3. Séparation magnétique à haut gradient du champ

Il utilise des bobines de cuivre ou supraconductrices pour traiter des particules ultrafines contenues dans des dispersions solides ou liquides ainsi que des matériaux aux propriétés magnétiques très faibles [6].

11.4 Essais de séparation magnétique de fer

Les résultats obtenus à l'aide de la méthode HIMS indiquent une augmentation de la teneur en fer, une diminution notable de la fraction argileuse, ainsi qu'une baisse significative des niveaux de silice et d'alumine dans l'échantillon étudié.

L'étude menée par Batou M. et Guirous N [6]. en 2015 avait pour objectif de traiter le minerai de fer de Gara Djebilet à l'aide d'une séparation magnétique à haute intensité. Les paramètres étudiés étaient la granulométrie, l'intensité du courant et l'ouverture du clapet.

L'utilisation d'une intensité de courant de 5A a donné des résultats inférieurs aux deux autres intensités testées de 10 A et 14 A. Les rendements pondéraux obtenus avec ces deux dernières intensités étaient pratiquement identiques. Par conséquent, pour des raisons d'économie d'énergie, il est recommandé d'opter pour une intensité de 10A plutôt que 14A.

L'essai mené par Khenkhar M. [14] la séparation du minerai de fer de l'Ouenza à l'aide d'une séparation magnétique à haute intensité.

L'expérience a montré que des intensités de courant plus élevées, telles que $I=12A$, sont préférables pour une extraction efficace du minerai de fer. L'ouverture du clapet joue également un rôle, bien que son effet varie selon la classe granulométrique. Les classes (- 0,5+0,25) et (- 0,25+0,125) ont été identifiées comme étant les plus appropriées pour la séparation magnétique en termes de degré d'extraction et de teneur en fer.

12. La séparation gravimétrique

12.1. Définition

La séparation gravimétrique est une technique utilisée pour concentrer des matériaux dans un liquide en exploitant la différence de densité entre le minéral cible et les impuretés (gangue). Cette méthode repose sur l'application d'un champ de forces de masse, principalement la gravité, ainsi que d'autres forces telles que la résistance offerte par un fluide (généralement de l'eau dans les mesures gravimétriques humides) pour déplacer les particules séparées ou la force de frottement entre ces particules et une surface de support.

Pour obtenir une séparation gravimétrique efficace, il est essentiel d'avoir une connaissance approfondie des caractéristiques minéralogiques du minerai traité, telles que les densités des différents composants et la distribution granulométrique des minéraux. Ces paramètres influencent significativement l'efficacité de la séparation par gravité. Le séparateur par gravité est conçu pour séparer efficacement les particules dans une plage de tailles spécifique.

La séparation par gravité repose sur les différences de masse volumique entre les particules à séparer. Il est possible d'évaluer l'applicabilité de cette méthode en utilisant la formule suivante [15] :

Coefficient de transfert (CT) = $(\rho_L - \rho_f) / (\rho_I - \rho_f)$

Où

C_T : Critère de Taggart.

ρ_L : la masse volumique de la phase solide lourde,

ρ_I : la masse volumique de la phase solide légère

ρ_f : la masse volumique du fluide

La séparation gravimétrique est utilisée dans diverses applications industrielles, notamment dans le traitement des minerais et des déchets, pour séparer des minéraux de valeur des impuretés. C'est une méthode largement utilisée en raison de sa simplicité, de son efficacité et de son faible coût.

12.2. Équipements de concentration gravimétrique

Les équipements de concentration gravimétrique sont divisés en quatre groupes selon les mécanismes de séparation impliqués [16] :

- **Milieu dense** : cette méthode met seulement en jeu la force de gravité des particules. On utilise pour cela un milieu organique en laboratoire ou une suspension aqueuse et dense d'un matériau fin à l'échelle industrielle.

- **Pulsation stratification (accélération différentielle)** : elle est basée sur les sédimentations différentielles entre les particules lourdes et légères provoquée par le mouvement périodique. On utilise pour cela des bacs à piston.

- **Nappe pelliculaire fluente** : il s'agit d'une nappe d'eau de faible épaisseur (quelques mm à quelques cm) s'écoulant sur un plan incliné. Les particules, suivant leur vitesse de chute et leur résistance au mouvement, se séparent en plusieurs catégories densimétriques. On utilise pour cela des spirales.

- **L'action de secousses horizontales combinée à l'action de la nappe pelliculaire fluente** contribue aussi à obtenir la stratification désirée. On utilise pour cela les tables à secousses.

12.3. Essais de séparation gravimétrique du minerai de fer

Des essais de séparation gravimétrique ont été effectués en utilisant une table à secousses pour la valorisation du minerai de fer (Seif-Elnassr et al). Les meilleurs résultats

étaient obtenus lorsque l'angle d'inclinaison de la table était de 5 degrés. Lorsque l'angle d'inclinaison était réglé à 5 degrés, le concentré obtenu présentait une teneur en fer élevée, atteignant 44,9 %. De plus, le taux de récupération était significatif, atteignant 86,7 %.

13. FLOTTATION

13.1. Principe et réactifs de la flottation

La flottation est une méthode de séparation solide-solide qui repose sur les propriétés physico-chimiques de surface des particules minérales en présence d'une solution aqueuse et d'air. Elle est considérée comme l'une des techniques les plus polyvalentes, efficaces et largement utilisées pour la séparation des minéraux [17]. Les particules minérales présentes dans la solution peuvent avoir des propriétés de surface différentes. Certains minéraux présentent une affinité pour les bulles d'air, tandis que d'autres ne s'y attachent pas. Cette sélectivité d'adhésion est déterminée par les interactions entre les particules minérales et les bulles d'air, qui peuvent être influencées par des facteurs tels que la composition chimique, la taille des particules et les conditions de la solution.

Les conditions essentielles pour la flottation comprennent la production de bulles d'air stables, l'adhésion sélective des minéraux aux bulles d'air et la levée des minéraux valorisables à la surface pour récupération [18].

Les réactifs de flottation jouent un rôle essentiel dans le processus de flottation en modifiant l'énergie superficielle des interfaces afin de modifier les caractéristiques de flottabilité des minéraux à séparer. Ils permettent également de contrôler la quantité, la taille et la rigidité des bulles d'air dans la pulpe. Les réactifs de flottation peuvent être d'origine organique ou inorganique, et ils sont classés en cinq groupes en fonction de leurs rôles [17] :

- **Collecteurs** : Ces réactifs sont ajoutés à la pulpe pour rendre les surfaces des minéraux hydrophobes. Ils se fixent sélectivement sur la surface des minéraux à récupérer, favorisant ainsi leur adhésion aux bulles d'air lors de la formation de la mousse.
- **Moussants** : Les réactifs moussants sont utilisés pour stabiliser la mousse formée pendant le processus de flottation. Ils réduisent la tension superficielle de la solution, ce qui permet à la mousse de conserver sa structure et de flotter à la surface.
- **Modificateurs** : Ces réactifs sont utilisés pour ajuster les propriétés de surface des minéraux et modifier leur flottabilité. Ils peuvent agir en changeant le pH de la pulpe, en

complexant certains ions présents ou en altérant les interactions électrostatiques entre les particules.

- **Dépresseurs** : Les dépresseurs sont des réactifs qui empêchent la flottation de certains minéraux indésirables. Ils agissent en modifiant les propriétés de surface de ces minéraux pour les rendre hydrophiles et les empêcher de se fixer aux bulles d'air.
- **Activateurs** : Les activateurs sont des réactifs utilisés pour améliorer la flottabilité de certains minéraux qui ont une faible affinité naturelle pour les bulles d'air. Ils modifient les propriétés de surface de ces minéraux pour les rendre plus hydrophobes et plus susceptibles de s'attacher aux bulles d'air.

En utilisant ces différents groupes de réactifs de flottation de manière appropriée, il est possible de séparer efficacement les minéraux ciblés et d'obtenir une récupération optimale dans le processus de flottation.

13.2. Essai de séparation par flottation de fer

Selon (Guirous N 2015) [18], une étude a été menée pour évaluer la séparation par flottation en vue de la valorisation du minerai de fer de Gara Djebilet. Une flottation directe a été identifiée comme le procédé de traitement le plus efficace pour ce minerai. Les conditions déterminées étaient un pH compris entre 4 et 6, ainsi qu'une densité de pulpe correspondant à 50% de minerai. Ces paramètres ont été identifiés comme cruciaux pour optimiser le processus de flottation et obtenir des résultats efficaces dans la valorisation du minerai de fer.

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

- L'utilisation de l'acide oléique, mélangé avec le fuel oil a prouvé son efficacité compte tenu de la couleur du concentré..., l'indisponibilité de l'alkyl sulfate nous n'a pas permis de faire une comparaison entre les deux collecteurs.
- La quantité optimale du collecteur utilisé est au environ 2.3 ml.
- La classe granulométrique (0,250 +0,160mm) est loin d'être la maille de libération de notre minerai compte tenue du rendement poids médiocre.
- La classe granulométrique (0,080 mm) s'avère être la meilleure maille de libération par rapport à celle (0,080-0,160 mm) qui présente toujours de l'hématite dans le rejet (couleur assez visible).

CHAPITRE III :

Matériel et méthode

III. Matériel et méthode

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la méthodologie de travail utilisée pour déterminer la composition minéralogique et chimique de minerai de fer et pour obtenir des informations détaillées sur cette composition. Nous décrirons également le matériel utilisé ainsi que les différentes techniques d'analyse et les essais de séparation utilisés.

2. Méthodologie de travail

La méthodologie adoptée dans cette étude vise à obtenir des informations détaillées sur la composition de minerai de fer. Elle comprend les étapes suivantes :

- ✓ Collecte des échantillons : des échantillons de minerai de fer ont été collectés sur le terrain dans des zones de sidi maarouf. L'emplacement et la sélection des échantillons ont été effectués en fonction des objectifs de l'étude.
- ✓ Préparation des échantillons : Les échantillons de fer ont été réduits en fragments de taille appropriée pour les différentes analyses.
- ✓ Analyse minéralogique : La composition minéralogique des échantillons a été déterminée à l'aide de diverses techniques telles que la diffraction des rayons X (DRX) et la microscopie optique des sections polie. La DRX permet d'identifier les minéraux présents dans les échantillons en analysant les diagrammes de diffraction obtenus. La microscopie optique permet d'observer les échantillons à une échelle microscopique et d'identifier visuellement les minéraux.
- ✓ Analyse chimique : La composition chimique des échantillons a été déterminée à l'aide de techniques telles que la spectrométrie de fluorescence des rayons X (SFX) et l'analyse élémentaire. La SFX permet de quantifier les concentrations élémentaires dans les échantillons, tandis que l'analyse élémentaire fournit des informations sur la présence et la concentration des éléments chimiques.

La figure III.1 : Différentes étapes de la caractérisation du minerai de fer :

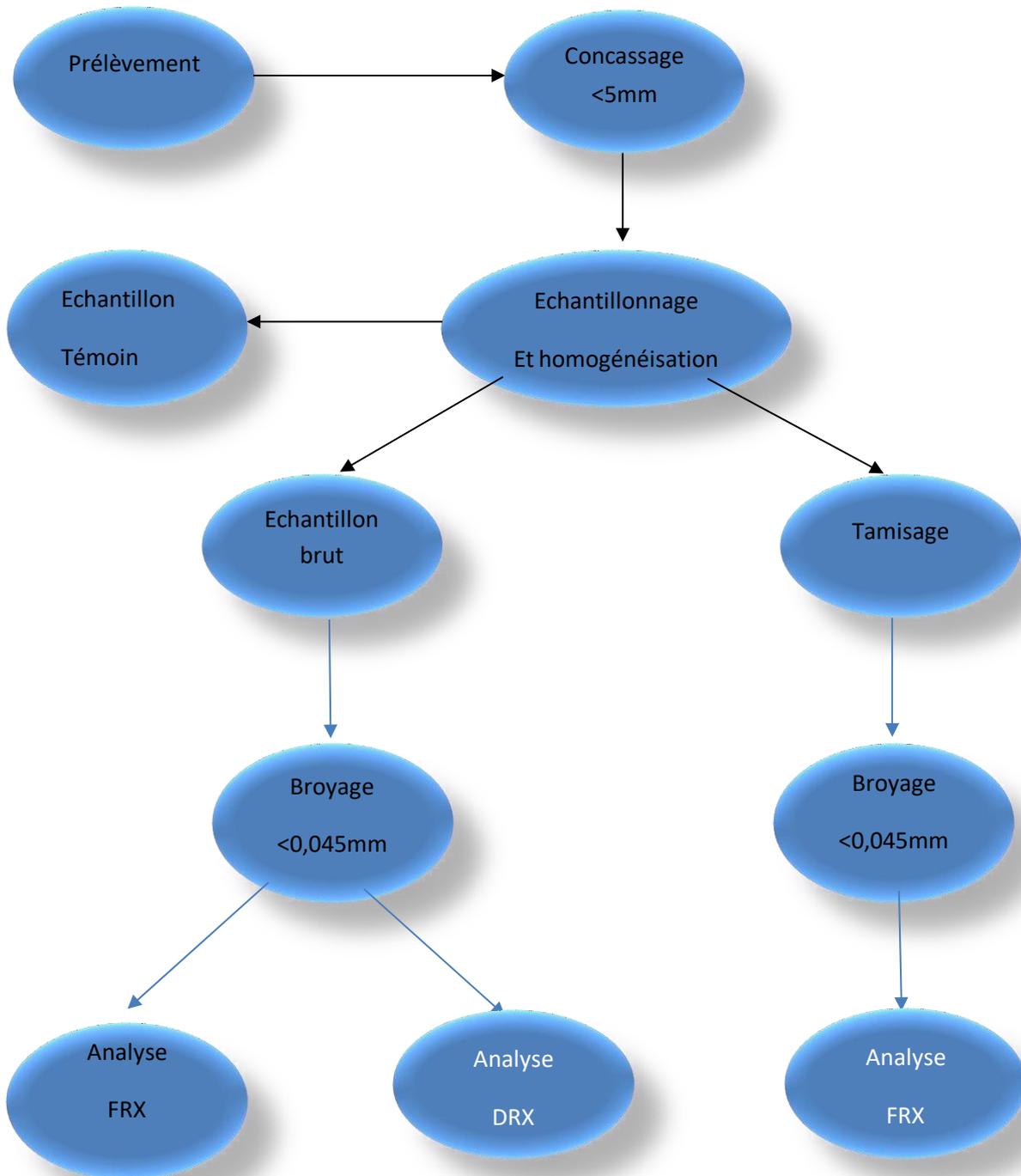


Figure III.1 : Différentes étapes de la caractérisation du minerai de fer

3. Echantillonnage

L'objectif de l'échantillonnage est de prélever une portion représentative d'un ensemble ou d'un lot de minerai afin de déterminer avec la plus grande précision possible la teneur moyenne des différents éléments de cet ensemble.

Le but de l'échantillonnage est de fournir des informations sur un lot global avec un niveau de confiance connu et acceptable. Pour étudier les caractéristiques de ce lot, il est souvent plus facile et plus rapide que d'analyser un échantillon. Il faut alors sélectionner un sous-ensemble qui représente le plus fidèlement possible les caractéristiques de l'ensemble du lot [19].

Dans le cadre d'un processus d'analyse et de traitement, une quantité totale de 50 kg de minerai de fer a été prélevée au niveau de gisement de Sidi Maarouf pour être soumise à diverses procédures au laboratoire. Ces analyses et traitements peuvent inclure des mesures physiques, chimiques ou minéralurgique visant à obtenir des informations nécessaires sur l'échantillon étudié (figure III.2).



Figure III.2 : Image des échantillons pris sur le site de gisement de sidi Maarouf

4. Analyse pétrographique (section polie)

L'examen des sections polies des échantillons représentatifs de fer de la mine de Sidi Maarouf a été réalisé au sein du département de géologie de l'Université de Sétif. Pour cette étude, un microscope polarisant en lumière transmise équipé d'une caméra couleur a été utilisé.

5. Préparations des échantillons

Après avoir vérifié la représentativité de nos échantillons par l'analyse préliminaire, les échantillons prélevés ont été mélangés, et une quantité a été réservée pour réaliser des sections polies, la quantité restante va subir les étapes de concassages, d'homogénéisation et de

quartage pour obtenir un échantillon représentatif. Un échantillon initial de cet échantillon (représentatif) va être utilisé pour effectuer une caractérisation chimique (FRX) et minéralurgique (DRX).

5.1. Concassage

Le concassage est une opération de réduction des dimensions des morceaux de minerai. Le processus est en général effectué par voie sèche, il se produit par écrasement des morceaux de minerai. Le concassage des échantillons étudiés est assuré par un concasseur à mâchoire de marque FRITSCH (figure III.3), il permet de réduire les dimensions des grains de 50 mm jusqu'à une dimension inférieure à 5mm.



Figure III.3 : Image de concasseur à mâchoire de laboratoire de Mines et Géologie

5.2. Homogénéisation de l'échantillon initial

L'homogénéisation est une opération indispensable pour avoir un bon mélange et une meilleure représentativité de l'échantillon, Dans notre cas, cette opération vient juste après le concassage. Donc le matériau concassé subit une homogénéisation afin d'avoir une distribution homogène des éléments composants l'échantillon.

5.3. Division de l'échantillon initial

L'échantillon initial a été divisé en deux parties égales à l'aide d'un diviseur à riffles, garantissant une répartition équitable des composants de l'échantillon. (Figure III.4).



Figure III.4 : Division de minerai de fer de sidi maarouf dans laboratoire de Mines et Géologie

Une fois l'opération de division terminée, le premier échantillon a été soigneusement mélangé afin d'éliminer toute variation ou inhomogénéité éventuelle présente dans l'échantillon et à réduire au minimum les différences au sein de l'échantillon. Ensuite, cet échantillon a été soumis à trois étapes successives d'homogénéisation et de quartage.

Le deuxième échantillon a été réservé en tant que témoin. Ce témoin conserve l'état initial de l'échantillon, sans avoir subi l'homogénéisation.

5.4. Quartage

Le quartage est une opération essentielle pour une meilleure représentativité de l'échantillon. Préalablement à cette opération, une homogénéisation est nécessaire, qui est un procédé mécanique consistant à mélanger un échantillon du minerai de base et à le rendre homogène, en le convertissant en quatre égaux, prenant ainsi les deux quarts opposés, les deux autres quarts seront donc être retenus comme témoins.

Ce procédé obéit à la loi de RECHARDSE exprimée par les relations suivantes [20] :

$$Q_i \geq Kd^2 ; \quad m \leq Q_i/Kd^2 \quad \text{et} \quad m=2n$$

Avec ;

Q : Quantité de l'échantillon à préparer dans l'étape considérée.

K : Coefficient de la préparation de la minéralisation (pour un échantillon hétérogène $K=0,5$ et pour un échantillon homogène $K=0,1$).

d : Diamètre de plus gros grain, n : Nombre de quartage et m : masse déterminant le nombre de quartage utilisé comme moyen de vérification.

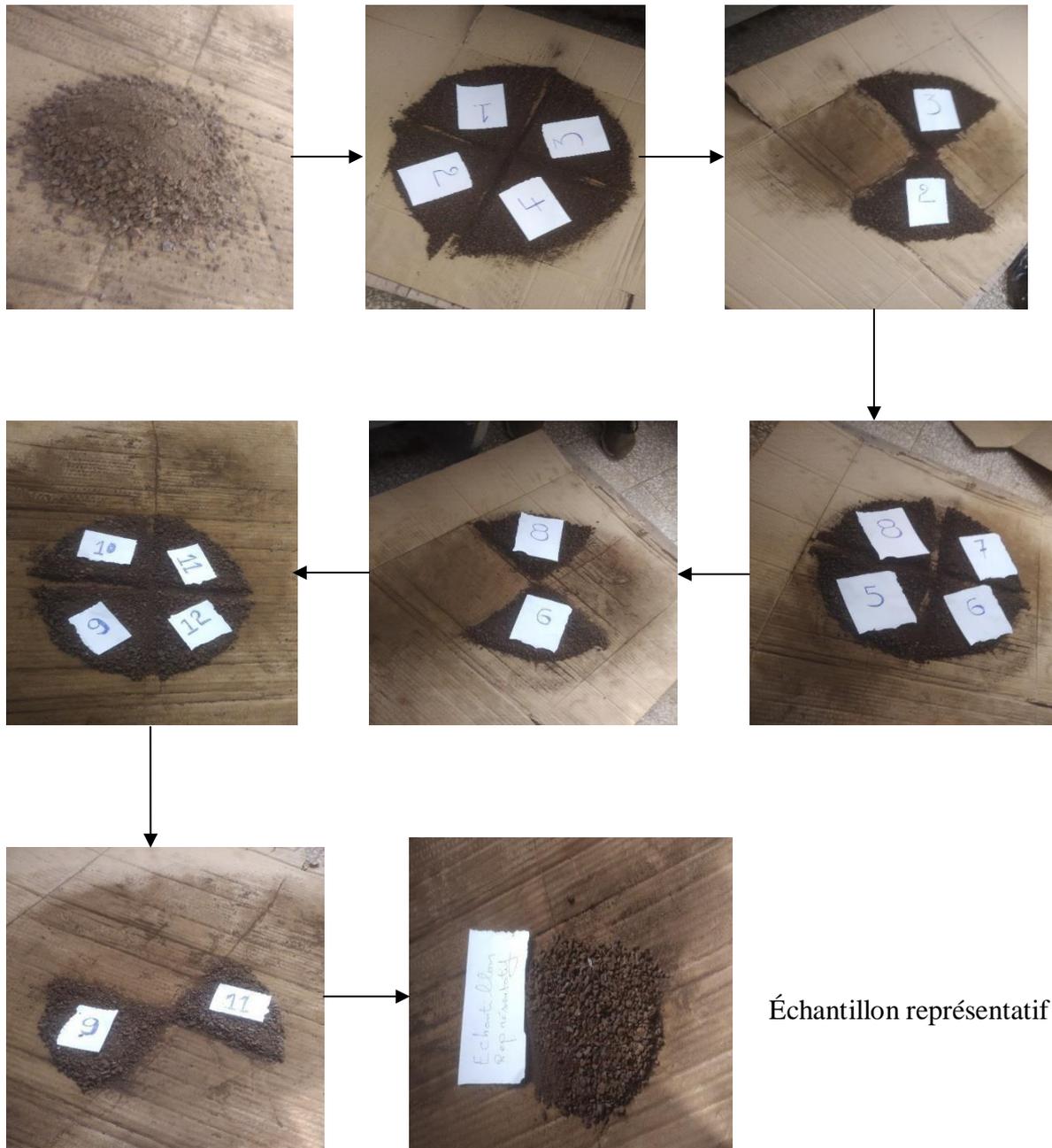


Figure III.5 : Etapes d’homogénéisation et quartage de minerai de fer de sidi maarouf

Une fois les opérations de division et de quartage terminées, l’échantillon initial a été réduit à une quantité finale de 515g, considérée comme représentative de l’ensemble. Cette quantité a été sélectionnée avec soin pour garantir une analyse granulo-chimique.

6. Caractérisation physico-chimique des échantillons

Un échantillon de fer brut broyé a un diamètre inférieure 45 micromètre et celladésigné directement pour l’analyse chimique et minéralurgique. L’analyse par diffraction des rayons X permet de déterminer les phases minérales majeures et mineures qui constituent lapoudre minérale.

6.1. Analyse granulométrique par tamisage

Un échantillon de 515 g sera utilisé dans le cadre de l'analyse afin de déterminer la taille des particules et de caractériser la composition chimique de l'échantillon. Cette étape est essentielle pour comprendre les propriétés physiques et chimiques de l'échantillon.

L'échantillon pesant est introduit sur une série des tamis d'ouvertures suivantes : (4 mm. 2 mm. 1 mm. 0,5 mm. 0,25 mm. 0,125 mm. 0,063 mm. 0,045 mm.), Le temps de tamisage est fixé à 15 minutes avec une amplitude de 5 Hz.



Figure III.6 : Tamiseur de Type FRITSCH de laboratoire de Mines et Géologie

6.2. Analyse granulo-chimique des échantillons par FRX

L'analyse granulo-chimique du fer vise à déterminer la répartition des éléments chimiques, notamment des impuretés, en fonction de la taille des particules. Pour ce faire, les échantillons sont broyés à l'aide d'un mortier traditionnel jusqu'à atteindre un diamètre inférieur à 0,045 mm

Les échantillons broyés sont ensuite séchés et pressés pour permettre l'analyse des éléments majeurs et des traces. Une pastille est ainsi obtenue et soumise à une source de rayonnement X primaire. Cette méthode permet d'étudier la composition chimique des différentes fractions granulométriques du fer, offrant ainsi des informations précieuses sur la distribution des éléments et des impuretés à travers les différentes tailles de particules.

La caractérisation par fluorescence X (FRX) a été réalisée au Centre de Recherche en Analyse Physico-Chimique (CRAPC) de Bejaïa.

6.3. Analyse par Diffraction des rayons X (DRX)

La caractérisation par diffraction des rayons X (DRX) a été réalisée au Centre de Recherche en Analyse Physico-Chimique (CRAPC) de Bejaïa. L'échantillon brut a été broyé jusqu'à atteindre une dimension inférieure à 0,045 mm, conformément aux exigences de la méthode de préparation des échantillons pour l'analyse DRX. Une fois l'échantillon broyé, il a été soumis à une série d'étapes de préparation, notamment le séchage et le pressage, afin d'obtenir une pastille homogène et compacte. Cette pastille a ensuite été placée dans l'appareil de diffraction des rayons X, où elle a été exposée à une source de rayonnement X.

L'analyse DRX permet d'identifier les pics de diffraction résultant de l'interaction des rayons X avec la structure cristalline de l'échantillon. Ces pics fournissent des informations sur la disposition atomique à l'échelle microscopique, permettant ainsi d'identifier les phases cristallines présentes dans l'échantillon [21].

7. Essais de d'enrichissement de fer de sidi maarouf

7.1. Lavage

Les essais de lavage ont été réalisés sur trois fractions granulométriques différentes de minerai de fer. Les fractions étaient les suivantes : -2+1 mm, -1+0,5 mm et -0,5+0,25mm. Chaque fraction a subi deux cycles de lavage pour séparer le minerai de fer utile de la gangue (argile, de calcite et de quartz).

Le processus de lavage vise à éliminer les impuretés de la matière première en utilisant différents mécanismes tels que la différence de densité et la taille des particules. Le minerai de fer utile est généralement plus dense que la gangue, ce qui facilite sa séparation lors du lavage. Après l'opération de lavage, chaque fraction granulométrique a été placée dans un tamis approprié pour récupérer le minerai de fer et éliminer la gangue résiduelle.

Une fois que les fractions granulométriques de minerai de fer ont été récupérées à travers les tamis, elles peuvent être utilisées pour effectuer des analyses chimiques et pour l'étape de valorisation ultérieure.

La figure III-7 montre les étapes de lavage par tamisage humide de minerai de fer de sidi maarouf :

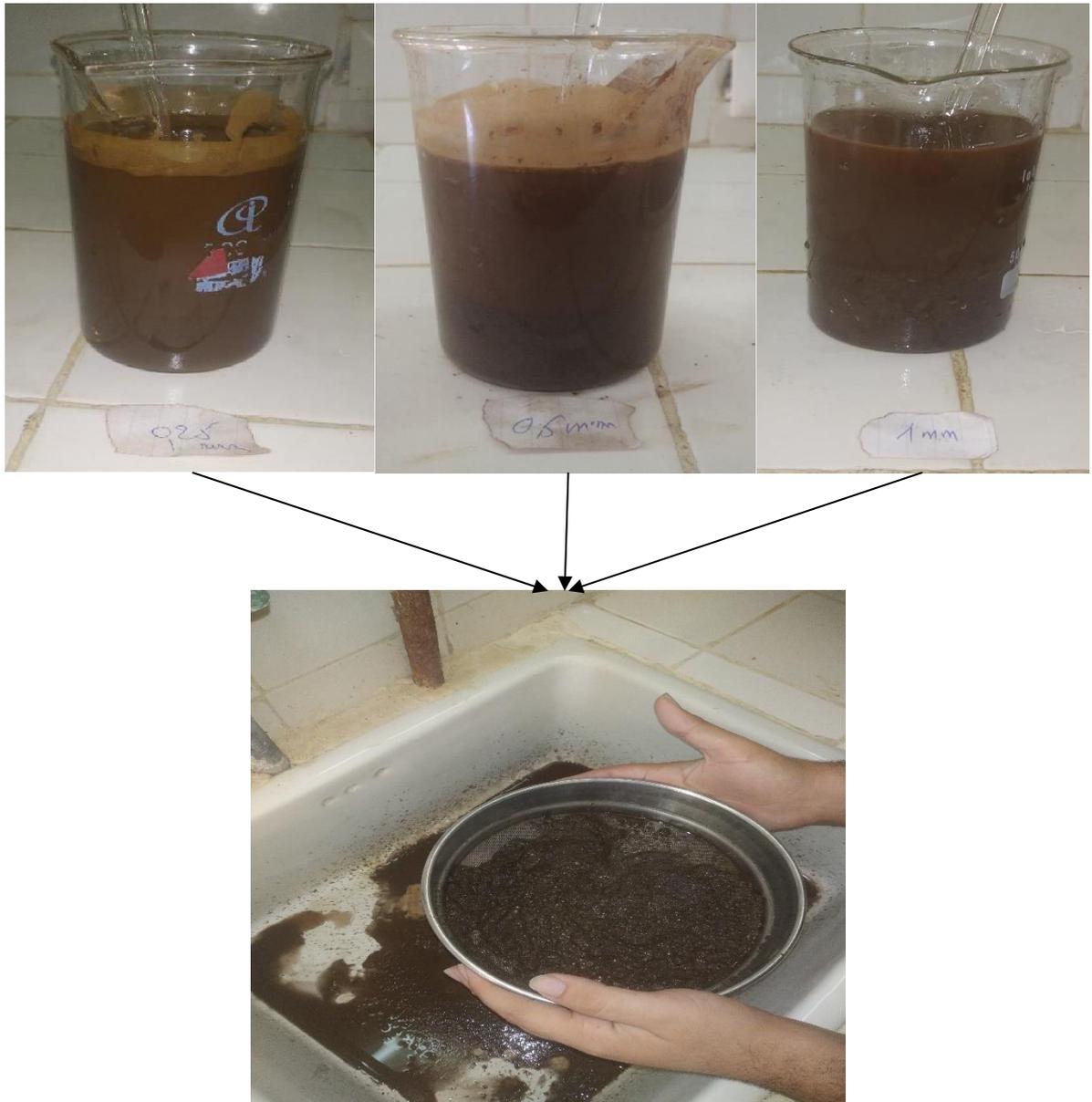


Figure III.7 : Etapes de lavage par tamisage humide de minerai de fer de sidi maarouf

7.2. Séparation magnétique à basse intensité des échantillons lavés

Après avoir effectué une série d'opérations de lavage sur les trois tranches granulométriques (-2+1mm, -1+0,5mm et -0,5+0,25mm), chaque tranche granulométrique préalablement lavée est soumise à une méthode de séparation magnétique à basse intensité pour l'objectif est de tester la faisabilité de la séparation des particules ferrifères de la gangue (calcite, quartz, etc.).

La séparation magnétique à basse intensité est un processus qui exploite les propriétés magnétiques des particules ferrifères pour les séparer de la gangue.

Cet essai de séparation à basse intensité est fait au niveau de l'université de Bejaia.



Figure III.8 : Séparateur magnétique à basse intensité modèle de laboratoire de Mines et géologie

7.3. Séparation magnétique à haute intensité des échantillons lavés

La séparation magnétique à haute intensité est un processus qui exploite les propriétés magnétiques des particules ferrifères pour les séparer de la gangue. Pour ce faire, un champ magnétique d'intensité est appliqué aux échantillons. L'intensité du champ magnétique choisie varie entre 6 et 10 ampères. Cette intensité permet de créer un champ magnétique puissant qui agit sur les particules ferrifères. Cet essai de séparation à haute intensité est fait au niveau de l'université de Badji Mokhtar Annaba.

L'appareillage utilisé est un séparateur à tambour canulé (rotor induit), sous un champ magnétique intense créé par un circuit conventionnel (électroaimants), dont lequel traverse un courant électrique réglable de 2 à 11,5 ampères.



Figure III.9 : Image de séparateur magnétique à haute intensité pris dans l'université de Badji Mokhtar Annaba

Les essais d'enrichissement par séparation magnétique à haute intensité ont été réalisés sur trois échantillons de 50 g pour chacun des tranches granulométriques de $([-2+1 \text{ mm}], [-1+0,5 \text{ mm}] \text{ et } [-0,5+0,25\text{mm}])$, Les échantillons testés sont soumis à une variation de l'intensité du courant électrique de 6, 8 et 10 Ampère. Les essais sont réalisés en se basant sur la variation de l'intensité du courant électrique, et cela nous a permis de savoir quelle est l'intensité électrique la plus adéquate pour la réalisation d'une bonne séparation.

CHAPITRE IV :

Résultats et Discussion

IV. Résultats et Discussion

1. Analyse granulométrique

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique par tamisage sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Résultats de tamisage de minerai de fer de sidi maarouf Jijel

Tranche granulométrique (mm)	Masse (g)	Masse (%)	Rendements cumulatifs Refus (%)	Rendements cumulatifs Passant (%)
4	135,77	26,569	26,569	73,431
-4+2	134,98	26,415	52,984	47,016
-2+1	88,55	17,329	70,313	29,687
-1+0,5	58,62	11,471	81,784	18,216
-0,5+0,25	44,56	8,720	90,504	9,496
-0,25+0,125	44,34	8,677	99,181	0,819
-0,125+0,063	3,54	0,692	99,873	0,127
+0,063+0,045	0,47	0,091	99,964	0,036
<0,045	0,16	0,031	99,995	0,005
Total	510,99	99,221		

D'après les résultats de le tableau IV-1, on remarque que le produit est majoritaire en pourcentage massique représentatif aux fractions [+4mm], [-4 +2mm], [-2 +1mm], [-1 +0,5mm] évalué à 417,92 g soit 81,784% ce qui confirme la dureté du minerai, car le reste du produit est minoritaire et reparti dans les fractions fines [0,5+0,25mm], [-250+125µm], [-125+63µm], [-63+45µm], [-45µm] évalué à 93,07 g soit 17,437%.

Donc on distingue que la répartition des grains de minerai de fer Sidi Maarouf n'est pas homogène.

Les résultats de tamisage sont interprétés sous forme de courbe granulométrique dans la figure suivant :

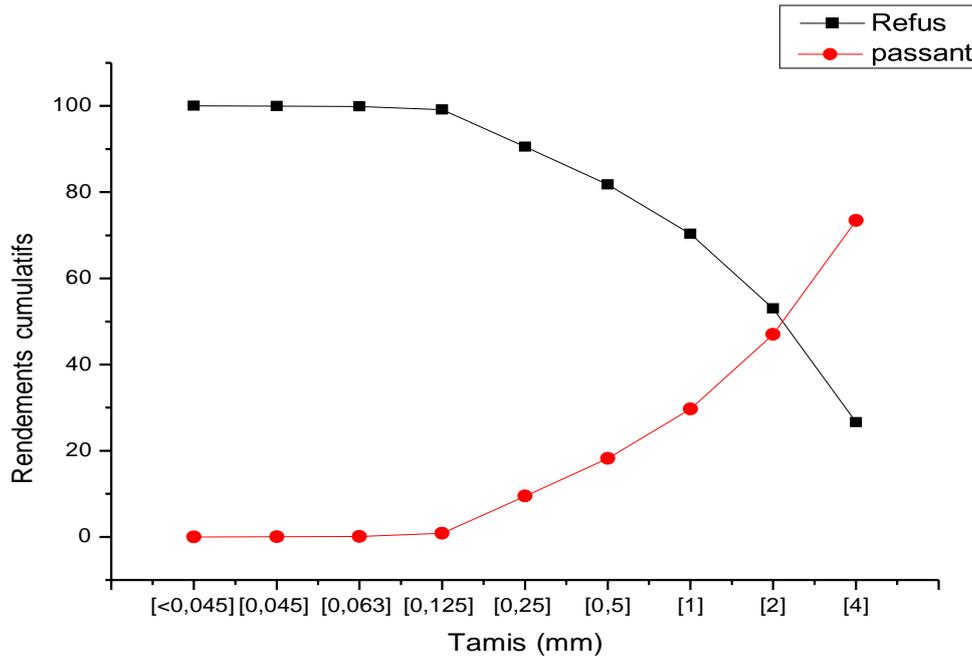


Figure IV.1 : Courbe granulométrique des refus et tamisât de minerai de sidi maarouf

Pour classer nos minerais et déterminer la répartition des particules en fonction du diamètre du tamis utilisé, nous avons calculé les coefficients de courbure et d'uniformité, à savoir : Cu, CC.

Coefficient d'uniformité Cu :

Il représente en quelque sorte une caractéristique quantitative de l'étalement de la courbe granulométrique, qui peut être déterminée par la formule suivante :

$$Cu = D_{60} / D_{10}$$

Avec :

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

D_{10} : 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 [14] :

- $Cu \leq 2$: granulométrie très serrée.
- $2 < Cu \leq 5$: granulométrie serrée.

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

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

Résultats

$D_{10}=0,25$ mm

$D_{60}=2$ mm

$Cu=8$ alors la granulométrie d'échantillon est semi étalée

Coefficient de courbure Cc

Cet indice permet de quantifier la répartition des particules dans la courbe de mesure des particules, il est déterminé par la relation suivante :

$$Cc=(D_{30}^2) / (D_{10}.D_{60})$$

Les matériaux avec peu de grains fins sont généralement caractérisés par un coefficient de courbure supérieur à 1, tandis que les matériaux avec une taille de grain uniforme auront une courbure d'environ 0,5.

Aussi, afin de déterminer si la granulométrie est bien graduée ou mal graduée (un sol est mal gradué si une fraction de grains prédomine) [14] :

- Si $1 < Cc < 3$: La continuité est bien répartie
- Si $Cc < 1$ ou $Cc > 3$: La continuité est mal répartie

Résultats

$D_{10}=0,25$ mm

$D_{30}=0,5$ mm

$D_{60}=2$ mm

$Cc=0,5$ alors la continuité de l'échantillon est mal répartie.

2. Analyse pétrographique

Les résultats de l'analyse pétrographique sont illustrés dans les figures suivantes :

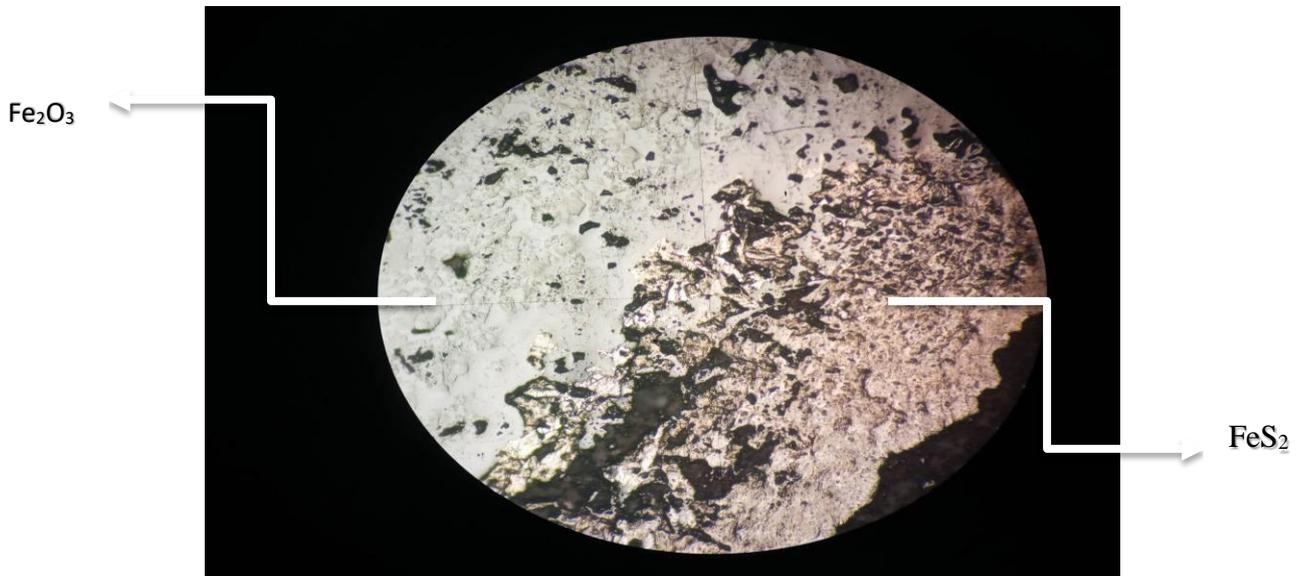


Figure IV.2 : Image microscopique ... Fe_2O_3 :

Hématite, FeS_2 : Pyrite LPNA G=x10

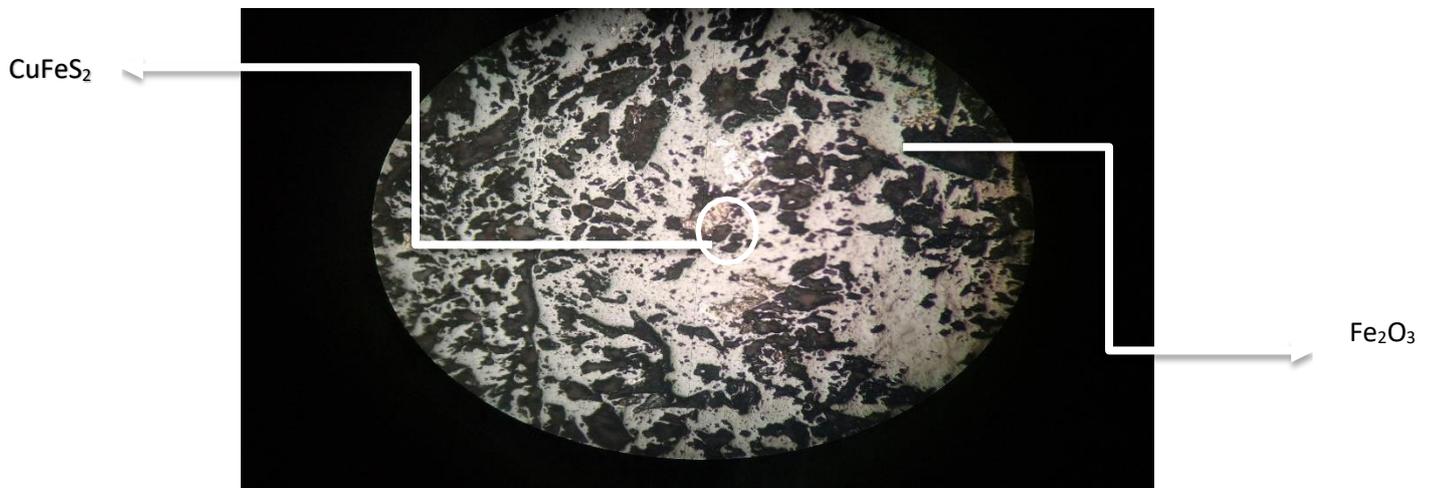


Figure IV.3 : Image microscopique de ... Fe_2O_3 :

Hématite, $CuFeS_2$: Chalcopyrite LPNA G=x10

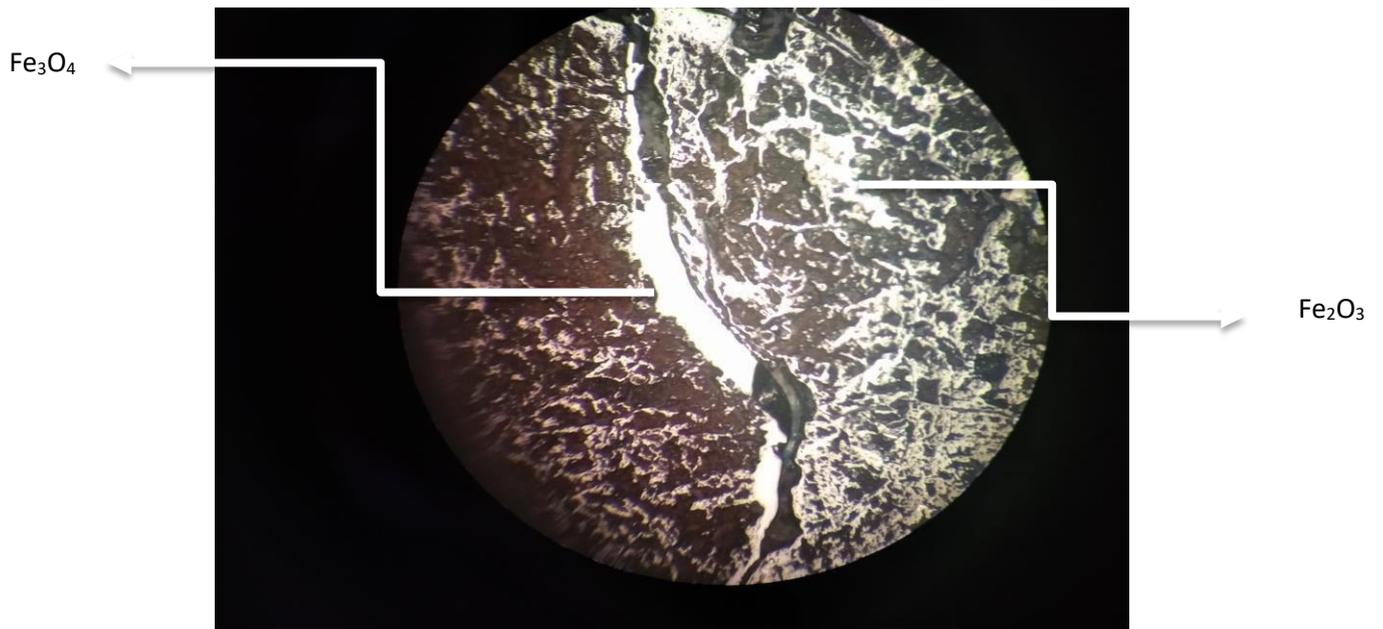


Figure IV.4 : Fe_2O_3 : Hématite, Fe_3O_4 : Magnétite

LPNA G=x10

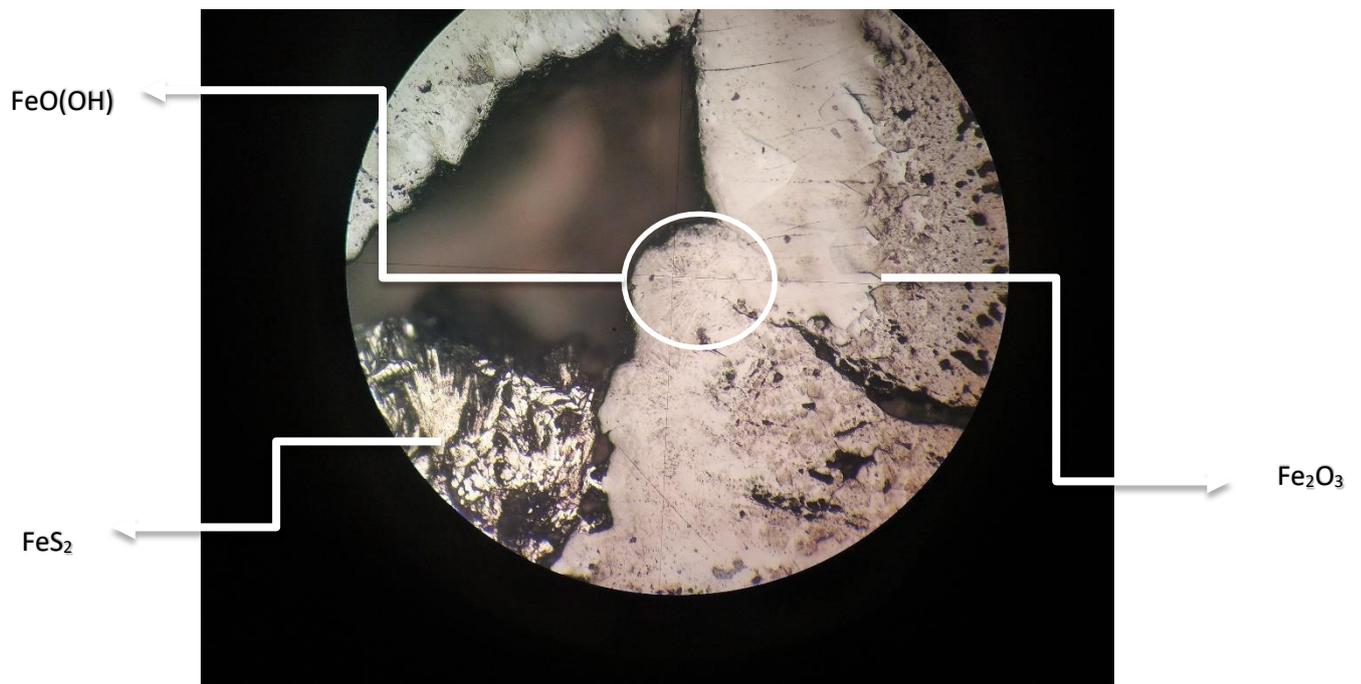


Figure IV.5 : Fe_2O_3 : Hématite, FeS_2 : Pyrite, $FeO(OH)$: Goethite

LPNA G=x10

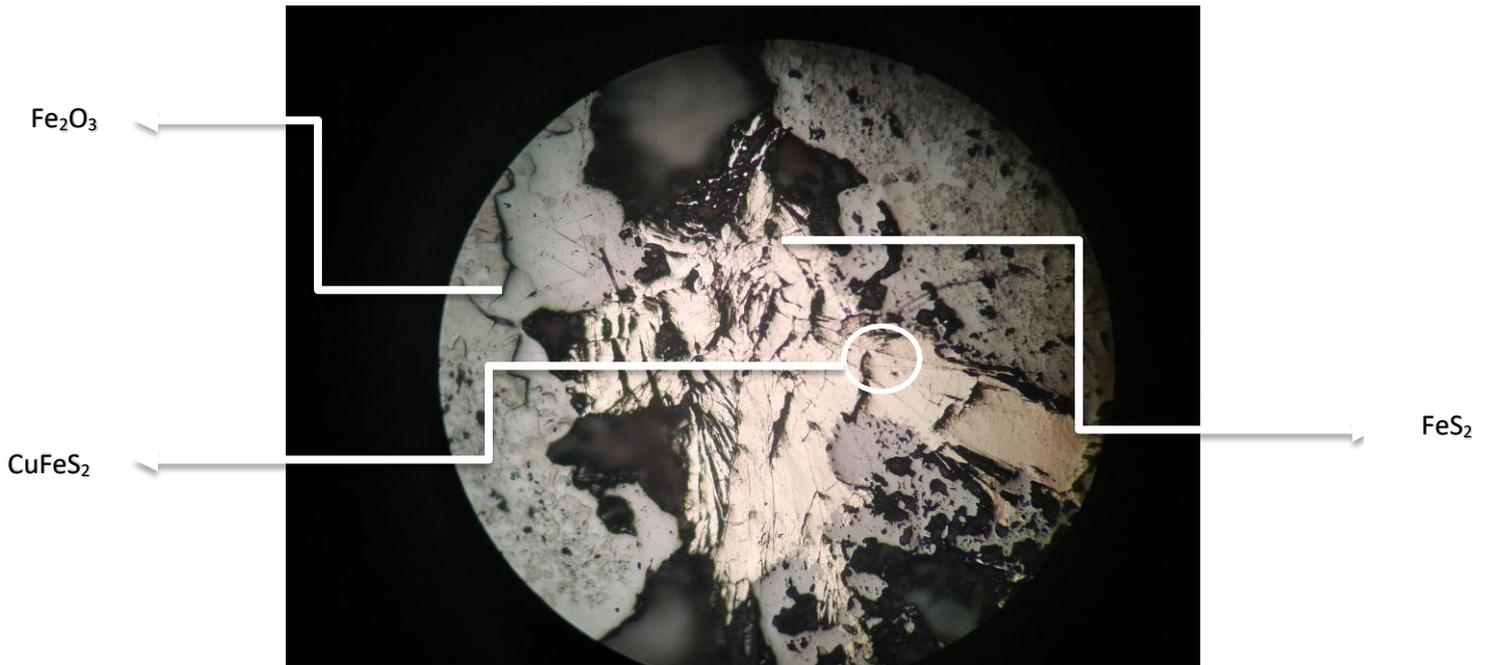


Figure IV.6 : Fe₂O₃ : Hématite, FeS₂ : Pyrite, CuFeS₂ : Chalcopryrite
LPNA G=x10

L'étude pétrographique montre une association minéralogique composée de l'hématite représentant le minier plus dominant à compagnie de la magnétite et goethite avec des traces de chalcopryrite et pyrite.

3. ANALYSE DES ECHANTILLONS PAR DRX

L'analyse par DRX de l'échantillon brut du minerai de fer de sidi maarouf est représentée sur la figure IV-7.

D'après la figure IV.7 On constate que la constitution du minerai de fer de sidi maarouf est prédominée plus par la goethite et l'hématite.

On remarque aussi des pics de faibles intensités qui représentent la calcite et proto-pyroxène, Ceci est dû à la présence des roches cristallophyllien dans le gisement.

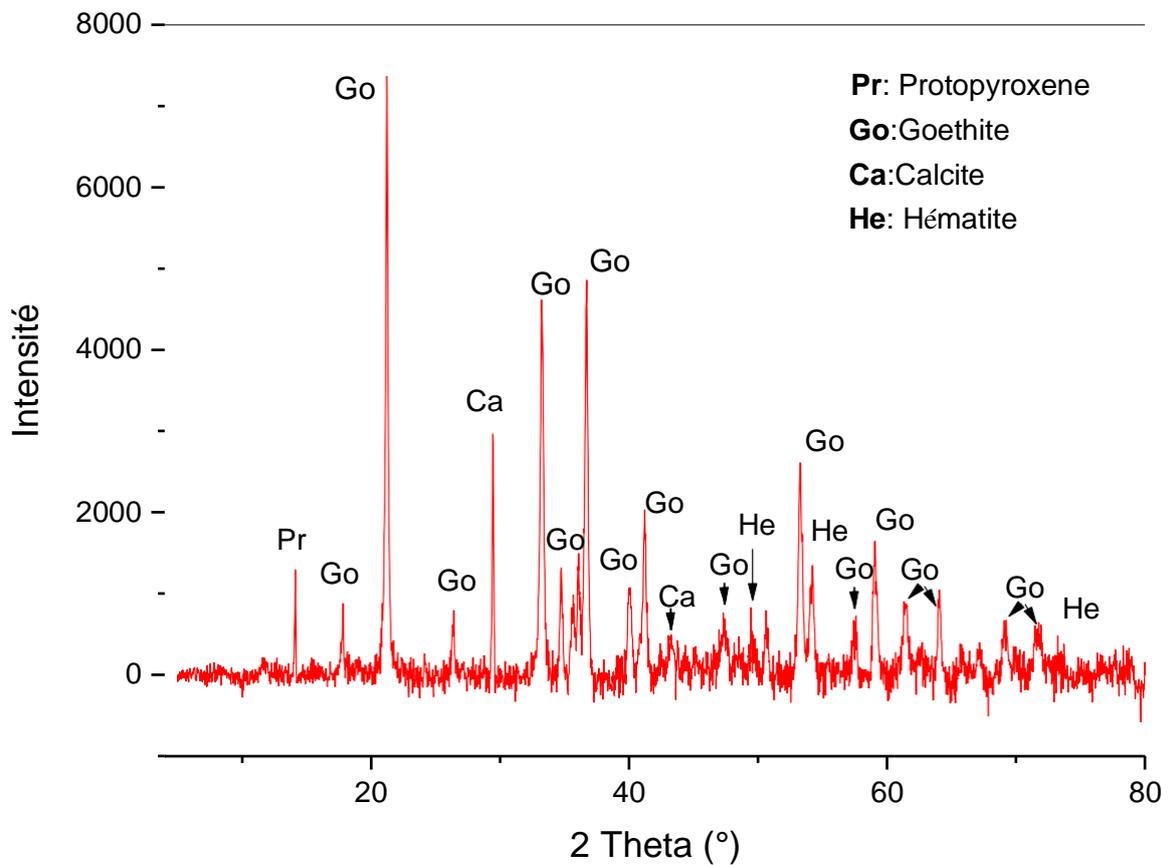


Figure IV.7 : Diffractogramme de l'échantillon brut de minerai de fer de sidi maarouf

4. Analyse granulo-chimique par FRX

4.1. Résultats de l'analyse granulo-chimique par FRX pour l'échantillon brut

L'échantillon de fer utilisé dans cette étude a été soumis à une analyse chimique pour déterminer sa composition. Les résultats sont présentés dans le Tableau IV-2. Ces résultats permettent d'identifier les différents éléments présents dans l'échantillon brut de minerai de fer.

D'après la composition chimique récapitulée dans le tableau IV-2, on remarque une teneur élevée en Fe_2O_3 , qui atteint 62,74%. Cela indique une concentration significative de minerai de fer dans l'échantillon.

En ce qui concerne les impuretés, on observe des concentrations relativement élevées en SiO_2 (1,32%) et en Al_2O_3 (1,89%). Ces oxydes majeurs sont considérés comme des impuretés indésirables dans le minerai de fer, car ils peuvent influencer négativement le processus de traitement et la qualité du produit final.

En revanche, certains composés présents dans l'échantillon sont présents à des pourcentages plus faibles, voire sous forme de traces. C'est le cas du P_2O_5 , du CaO et du TiO_2 . Bien que présents en quantités réduites, ces éléments peuvent également avoir un impact sur les caractéristiques du minerai et nécessitent donc une attention lors du processus de traitement.

Tableau IV.2 : Résultats de l'analyse granulo-chimique par FRX pour l'échantillon brut

Oxydes	Teneur(%)	Oxydes	Teneur(%)
SiO_2	1,327	P_2O_5	0,039
Fe_2O_3	62,745	CaO	0,854
K_2O	0,016	ZnO	0,121
TiO_2	0,043	Rb_2O_3	0,001
MnO	1,476	Sb_2O_3	0,012
CuO	0,286	PbO	0,023
As_2O_3	0,015	V_2O_5	0,012
SrO	0,004	PAF	31,134
Al_2O_3	1,899		

4.2. Résultats de l'analyse granulo-chimique par FRX de minerai de fer de Sidi Maarouf

L'analyse chimique des échantillons tamisés a révélé des variations de teneur en fer, avec des valeurs comprises entre 53,372 % et 65,894 %. La teneur en fer la plus élevée a été observée dans la tranche granulométrique grossière. Cela suggère que les particules de plus grande taille peuvent contenir une concentration plus élevée de minerai de fer. En ce qui concerne les impuretés, on observe une tendance où les pourcentages de SiO_2 , Al_2O_3 et CaO sont plus élevés dans les tranches granulométriques grossières par rapport aux tranches fines. Cela indique une accumulation plus importante de ces éléments indésirables dans les fractions de particules plus grosses. Quant aux autres éléments tels que P_2O_5 , CuO et TiO_2 , ils sont présents en quantités très faibles, voire sous

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

forme de traces. Cela signifie que ces éléments sont moins abondants et ont une influence moindre sur la composition chimique des échantillons tamisés. Les résultats d'analyse granulo-chimique par FRX le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Résultats de l'analyse granulo-chimique par FRX de minerai de fer de Sidi Maarouf

Oxydes	Tranches granulométriques (mm)								
	4	-4 +2	-2 +1	-1 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,125	-0,125 +0,063	-0,063 +0,045	<0,045
SiO ₂	1,271	1,294	1,56	1,307	1,656	2,214	2,346	1,731	1,817
Fe ₂ O ₃	63,106	61,572	63,78	63,034	57,091	61,4	58,947	53,372	65,894
K ₂ O	0	0	0,036	0,018	0,057	0,117	0,129	0,089	0,057
TiO ₂	0,031	0,03	0,087	0,058	0,081	0,099	0,98	0,071	0,066
MnO	1,103	1,223	2,278	1,762	2,173	2,707	2,559	4,83	2,243
CuO	0,278	0,25	0,229	0,024	0,131	0,053	0,029	0,02	0,025
As ₂ O ₃	0,013	0	0	0,133	0,01	0,011	0,014	0,01	0,012
SrO	0,003	0,004	0,008	0,006	0,007	0,009	0,008	0,019	0,007
Al ₂ O ₃	1,652	1,892	2,301	2,07	2,401	2,995	3,099	2,353	2,444
P ₂ O ₅	0	0,023	0,038	0,071	0,031	0,101	0,065	0,043	2,444
CaO	0,49	1,03	1,338	1,11	1,362	1,713	1,578	1,178	1,189
ZnO	0,112	0,106	0,094	0,103	0,051	0,019	0,009	0,008	0,011
Rb ₂ O ₃	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0	0
Sb ₂ O ₃	0,011	0	0,017	0	0,012	0,019	0,026	0,01	0,014
PbO	0,031	0,081	0,014	0,013	0,021	0,006	0,003	0,003	0,003
V ₂ O ₅	0	0	0	0	0,019	0,022	0,02	0,02	0
PAF	31,896	32,611	28,105	30,374	34,811	28,478	32,137	38,873	26,179

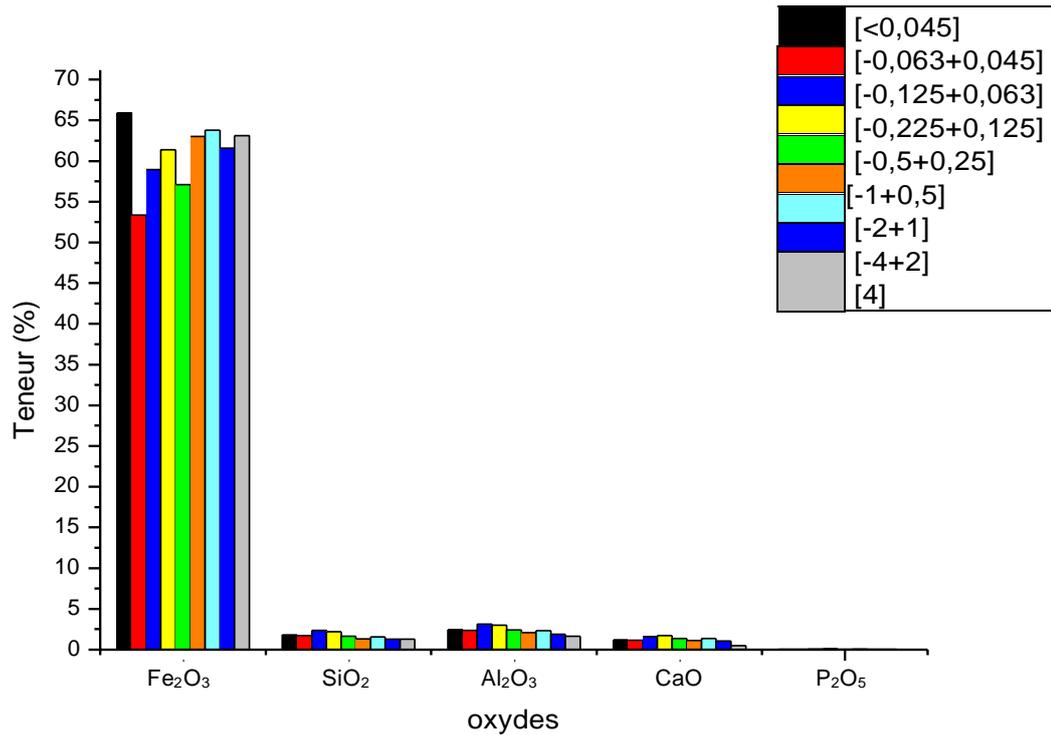


Figure IV.8 : Résultats de l'analyse par FRX pour les échantillons par fraction

D'après la figure IV-8 on remarque que dans les fractions (4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5mm) que la teneur en fer est relativement le même, par contre dans les autres fractions (0,25mm, 0,125mm, 0,063mm, 0,045mm) on remarque une grande dégradation de la teneur en fer et on obtient la grande dans la fraction <0,045mm.

On remarque que les teneurs de SiO₂, Al₂O₃ et CaO sont élevées dans les fractions (0,25mm, 0,125mm, 0,063mm, 0,045mm, <0,045mm), par contre le P₂O₅ est sous forme de traces.

5. Lavage des échantillons

Une fois les essais de lavage terminés, il est possible d'évaluer l'efficacité du processus en analysant la teneur en minerai de fer dans les produits obtenus après chaque lavage. Les fractions granulométriques qui ont donné les meilleurs résultats en termes de récupération du minerai de fer. Le pourcentage massique après l'essai de traitement par lavage représente par Le tableau IV-4.

Tableau IV.4 : Résultats de l'essai de lavage de minerai de fer de sidi maarouf

Tranche granulométrie	Masse avant lavage	Rendement massique			
		Concentré		Rejet	
mm	g	g	%	g	%
[-2+1]	250	207,9	83,16	42,1	16,84
[-1+0,5]	250	214	85,6	36	14,4
[-0,5+0,25]	213	151	70,89	62	29,11

D'après le tableau on remarque que le rendement massique de concentré est très élevé (plus de 70%), cela montre que le lavage de minerai de fer de sidi maarouf est bien effectué.

6. Analyse chimique par FRX de L'échantillons lavée

Pour cette analyse, les échantillons sont broyés à l'aide d'un mortier traditionnel jusqu'à atteindre un diamètre inférieur à 45 μm . Les échantillons broyés sont ensuite séchés et pressés pour permettre l'analyse des éléments majeurs et des traces. Une pastille est ainsi obtenue et soumise à une source de rayonnement X primaire. La caractérisation par fluorescence X (FRX) a été réalisée au Centre de Recherche en Analyse Physico-Chimique (CRAPC) de Bejaïa

L'analyse chimique des échantillons tamisés a révélé des améliorations significatives de la teneur en fer dans différentes tranches granulométriques. Les tranches de taille [-2+1 mm], [-1+0,5 mm] et [-0,5+0,25 mm] ont enregistré des améliorations de teneur en fer de 7,993%, 6,639% et 7,141% respectivement. Ces résultats démontrent une amélioration de la concentration en minerai de fer dans ces fractions particulières, ce qui indique une efficacité du processus de tamisage dans l'enrichissement du minerai. En ce qui concerne les autres éléments, tels que SiO_2 , Al_2O_3 et CaO , une diminution de leur pourcentage a été observée par rapport aux fractions initiales. Cela suggère que ces impuretés ont été partiellement éliminées ou concentrées dans les fractions de particules plus fines. Cette diminution de pourcentage indique une amélioration de la qualité du minerai de fer traité. De plus, il est important de noter que le composé P_2O_5 a été complètement éliminé dans les fractions de 1 mm et 0,25mm.

Cette élimination réussie du P_2O_5 est un aspect positif, car il s'agit d'une impureté indésirable dans le minerai de fer.

Les résultats d'analyse FRX des échantillons lavés sont mis dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 : Résultats d'analyse chimique d'essai de lavage du minerai de fer de Sidi Maarouf par FRX

Oxydes	Tranches granulométriques (mm)		
	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,25
SiO ₂	1,441	1,177	1,205
Fe ₂ O ₃	71,773	69,673	64,232
K ₂ O	0	0,06	0
TiO ₂	0,039	0,042	0,063
MnO	1,372	1,769	2,013
CuO	0,713	0,458	0,293
As ₂ O ₃	0	0,01	0,009
SrO	0,004	0,006	0,007
Al ₂ O ₃	2,1	1,899	2,051
P ₂ O ₅	0	0,032	0
CaO	0,913	1,272	1,47
ZnO	0,281	0,195	0,11
Rb ₂ O ₃	0	0,001	0
Sb ₂ O ₃	0,012	0	0
PbO	0,036	0,017	0,012
V ₂ O ₅	0	0	0,018
PAF	21,303	23,277	28,517

Les résultats de l'analyse FRX pour les échantillons sont interprétés sous forme des graphes dans les figures suivantes

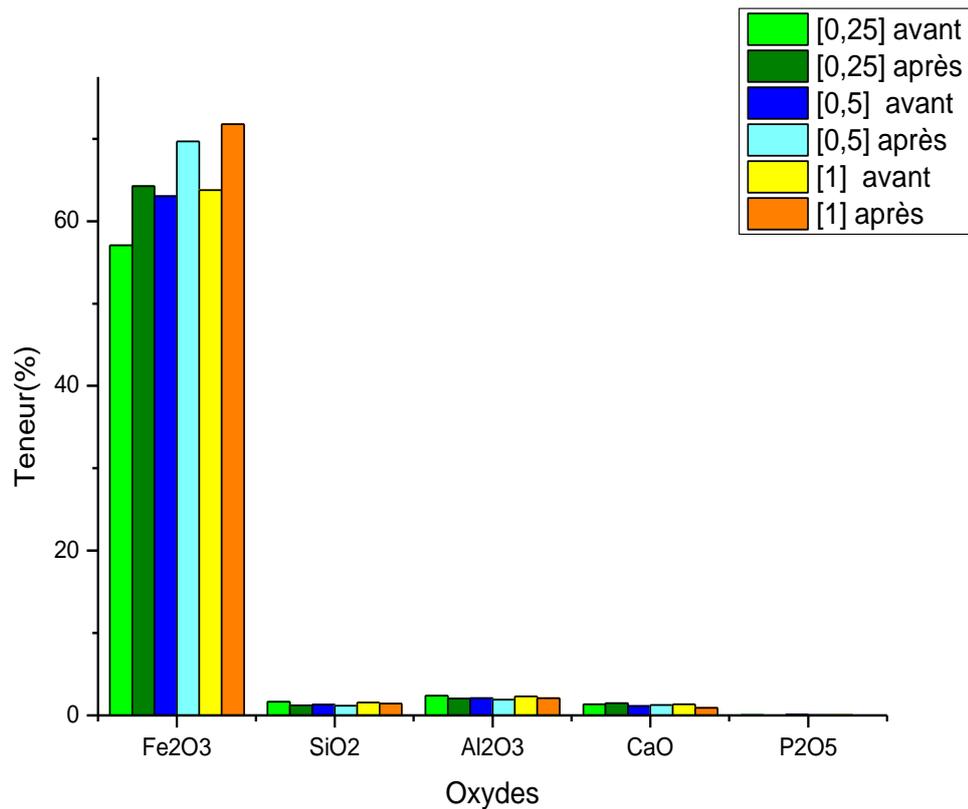


Figure IV.9 : Résultats de l'analyse FRX pour les échantillons avant et après le lavage

D'après la figure IV-9 on remarque une augmentation de la teneur en fer et une diminution de (SiO_2 , CaO , Al_2O_3) et une élimination de P_2O_5 dans les tranches granulométriques 0,25mm et 1mm.

7. La séparation magnétique à basse intensité

Pour cet essai, ont soumise une masse de 40g pour chaque fraction à une méthode de séparation magnétique à basse intensité.

Les résultats de l'essai de la séparation magnétique à basse intensité sont mis dans le tableau suivant :

Tableau IV.6 : Résultats de séparation magnétique à basse intensité

Fraction (mm)	FM (g)	Rendement (%)	FNM (g)
-2+1	0,98	2,45	39,02
-1+0,5	0,95	2,38	39,05
-0,5+0,25	1,03	2,58	38,97

Les procédés d'enrichissement comme ils sont décrits auparavant, sont basés principalement sur les propriétés spécifiques des minéraux (forme, susceptibilité magnétique etc.) et ce dans le but de produire des concentrés riches en métal.

Le premier niveau est une séparation magnétique à basse intensité (SMBI) : le premier niveau ne peut pas aboutir à un concentré, et comme le produit est de l'hématite avec toute la gangue qui l'accompagne, la SMBI ne peut pas être efficace.

8. La séparation magnétique à haute intensité

Les résultats de l'essai de la séparation magnétique à haute intensité sont mis dans les tableaux suivant :

Tableau IV.7 : Résultats de séparation magnétique à haute intensité (I=6A)

Intensité (A) fraction (mm)	I=6 A		
	FM (g)	Rendement %	FNM (g)
-2+1	37,27	90,46	3,93
-1+0,5	39,52	95,23	1,98
-0,5+0,25	40,07	98,7	0,53

Tableau IV.8 : Résultats de séparation magnétique à haute intensité (I=8A)

Intensité (A) fraction (mm)	I=8 A		
	FM (g)	Rendement %	FNM (g)
-2+1	38,45	93,1	2,85
-1+0,5	40,4	97,6	1
-0,5+0,25	38,51	94,38	2,29

Tableau IV.9 : Résultats de séparation magnétique à haute intensité (I=10A)

Intensité (A) fraction (mm)	I=10 A		
	FM (g)	Rendement %	FNM (g)
-2+1	39,38	96,28	1,52
-1+0,5	39,93	95,41	0,87
-0,5+0,25	40,94	99,6	0,16

La séparation magnétique à haute intensité (SMHI), appliquée sur le minerai de fer de sidi Maarouf à différentes intensités de courants de courant électrique à donner les résultats suivants :

- ✓ On remarque que dans la tranche granulométrique (-0,5+0,25) le rendement est plus élevé dans l'intensité de (6A et 10A).
- ✓ On remarque aussi que le rendement est plus élevé dans la tranche (-1+0,5) à l'intensité de (8A).
- ✓ Concernant la tranche granulométrique (-2+1) on constate que plus l'intensité augmente, plus le rendement de la fraction magnétique augmente.

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

Intensité I = 10 Ampères.

Granulométrie : classes granulométriques (-0.5+0.25).

Rendement massique : 99,6 % de produit magnétique.

9. CONCLUSION

On conclut ce chapitre par le schéma suivant qui résume les étapes de traitement de minerai de fer de sidi maarouf :

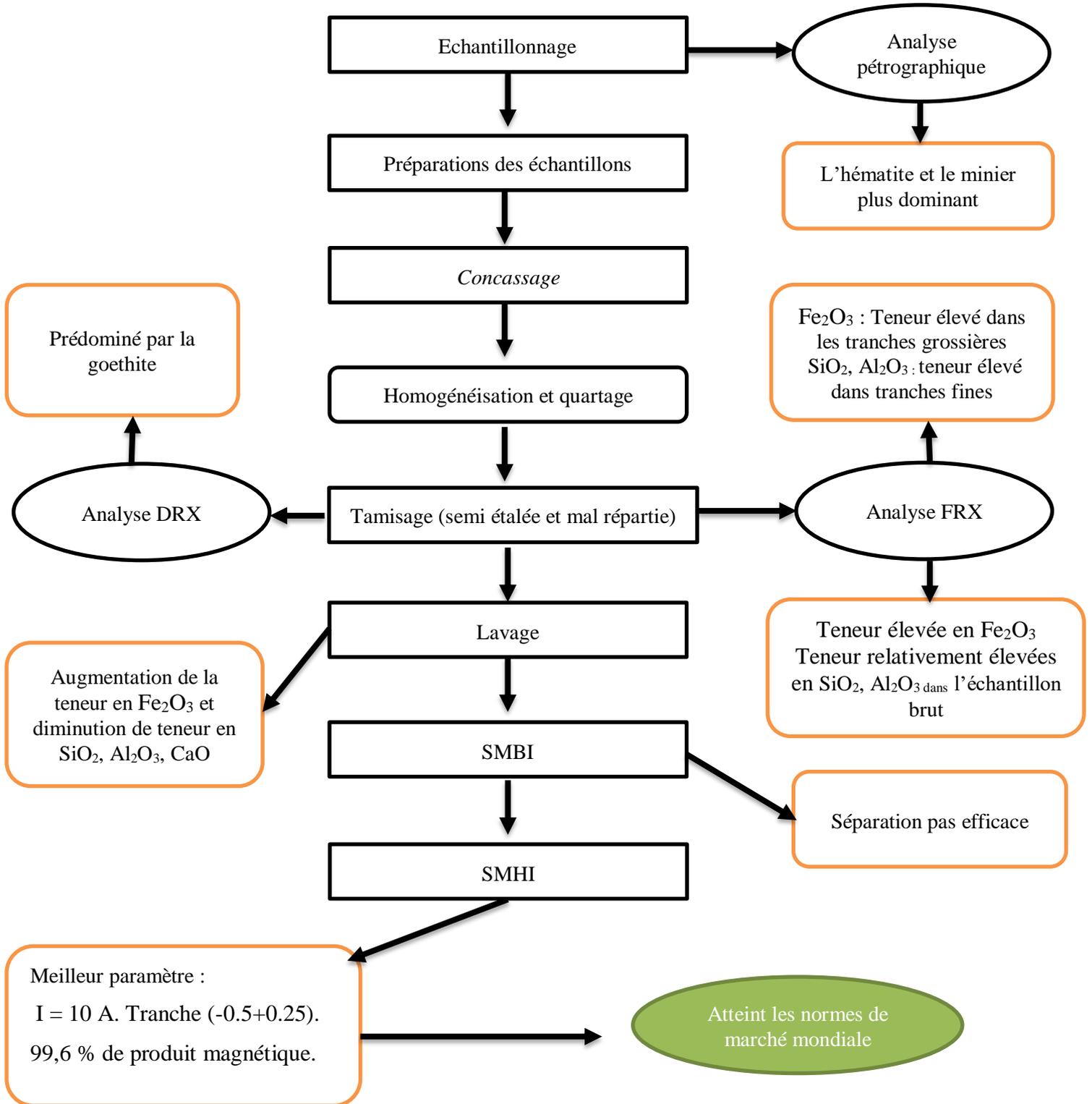


Figure IV.10 : Schéma des étapes de traitement de minerai de fer de sidi maarouf

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Les échantillons prélevés sont soumis à une préparation mécanique adéquate pour leur préparation aux différentes techniques de caractérisation (minéralogique, chimique) un autre échantillon est utilisé dans des essais de séparation magnétique.

Les travaux de recherche effectués sur ce gisement, dans le cadre de la préparation de ce projet de fin d'études, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ L'analyse granulométrique du minerai a montré que le produit dans les 4 classes granulométriques [+4mm], [-4 +2mm], [-2 +1mm], [-1 +0,5mm] est majoritaire en pourcentage massique (81,784%) représentatif aux fractions. Donc la répartition des particules dans les tranches granulométriques est de manière irrégulière.
- ✓ L'étude pétrographique montre une association minéralogique composée de l'hématite comme élément dominant et la magnétite et la goethite avec des traces de chalcoppyrite et pyrite.
- ✓ On constate d'après l'analyse par DRX de l'échantillon brut que la constitué de minerai de fer de sidi maarouf est prédominé par l'hématite et la goethite, on remarque aussi des pics de faibles intensités qui représentent la calcite et la proto-pyroxène.
- ✓ L'analyse chimique a montré que le bilan matière du minerai de fer de l'échantillon brut à une teneur de 62,754% de Fe_2O_3 . Ainsi, on remarque la présence en pourcentage de silice et l'alumine respectivement 1,327 % ; 1,899 % et le phosphore sous forme de traces.
- ✓ L'analyse chimique des échantillons par tranche a montré que la teneur de fer est variée entre 53,372 % et 65,894 %, cette dernière est élevée dans les tranches granulométriques grossières
- ✓ L'analyse chimique des échantillons lavés a montré qu'il y a une augmentation de la teneur en fer par 7,993%, 0,609%, 7,141% pour les tranches granulométriques de ([-2+1 mm], [-1+0,5 mm] et [-0,5+0,25mm]) respectivement. Alors une diminution de pourcentage est remarquée dans les autres éléments tel que la SiO_2 , Al_2O_3 , CaO par contre on remarque une élimination de P_2O_5 dans les fractions ([-2+1 mm] et [-0,5+0,25mm]).
- ✓ La séparation magnétique à basse intensité ne peut pas aboutir à un concentré, et comme le produit est de l'hématite avec toute la gangue qui l'accompagne, la SMBI ne peut pas être efficace,

CONCLUSION GENERALE

✓ La séparation magnétique à haute intensité (SMHI), appliquée sur le minerai de fer de Sidi Maarouf à différentes intensités de courants ~~de courant~~ électrique à donner les résultats suivants :

- On remarque que dans la tranche granulométrique (-0,5+0,25) le rendement est plus élevé dans l'intensité de (6A et 10A).
- On remarque aussi que le rendement est plus élevé dans la tranche (- 1+0,5) à l'intensité de (8A).
- Concernant la tranche granulométrique (-2+1) on constate que plus l'intensité augmente, plus le rendement de la fraction magnétiqueaugmente.

Suite aux différents essais, nous avons conclu que les paramètres suivants sont les plus adéquats pour la réalisation d'une bonne séparation :

- Intensité $I = 10$ sAmpères.
 - Granulométrie : classes granulométriques (-0.5+0.25).
- ✓ La teneur de fer obtenue d'après notre essai à atteint les normes dans le marché mondiale (63-64 %). Ces résultats indique une efficacité du processus d'enrichissement de minerai de fer de Sidi Maarouf.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- 1- MANSERI L, IGUI L, 2021, Contribution à l'étude d'enrichissement du minerai de fer de SIDI-MAAROUF- JIJEL par séparation physique, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaia.
- 2- BOUDRAA Y, CHINE S.A, 2019, Pétrographie de l'encaissant carbonaté liasique et gîtologie des minéralisations ferrifères de Chaabat El Gherz (Extrémité occidentale du massif de Sidi Maarouf- Jijel - Algérie nord orientale), Mémoire de Master, Université Mohamed el Seddik Ben Yahya, Jijel.
- 3- GHITULESCU T.P et al, (1971), Economie geologicăminieră. Editura Tehnică. București.
- 4- INDUSTRIALEXPORT – ROMANIE (1968). Mines de fer –Algérie –étude.
- 5- BADJOUDJ S, 2011, Etude des propriétés magnétiques du minerai de fer de sidi maarouf-Jijel en vue d'un enrichissement par séparation magnétique, Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar Annaba.
- 6- CHAABIA R, 2016, Caractérisation physico-chimique et enrichissement des minerais de fer : cas du gisement d'Anini, Sétif-Algérie, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba.
- 7- BADJOUDJ S, 2018, Caractérisation physico-chimique et traitement du minerai de fer du gisement de Gara – Djebilet – Tindouf, thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba
- 8- Djebbari F.Z, 2019 traitement d'un minerai de fer par des liquides ioniques, Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun – TIARET
- 9- Khellal S, Messara C, 2014, Caractérisations et valorisation du rejet de marne issu d'exploitation de fer d'El-Ouenza, Mémoire de Master, Université AbderrahmaneMira – Bejaia
- 10- TALHA A, TIGHLIT L,2021, Contribution à l'étude d'enrichissement de minerai de fer (Gara Djebilet) par méthode de torréfaction et d'attaque au chlorure de calcium, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira – Bejaia
- 11- Ressources naturelles Canada, 2021.U.S. Geological Survey, Production minière mondiale de minerai de fer.
- 12- BATOU M, GUIROUS N, 2015, Essai de valorisation du minerai de fer du gisement de Gara Djebilet par séparation physique, Mémoire de Master, Ecole Nationale Polytechnique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- 13- IZERRADEN H, 2020 Les rejets de l'exploitation du minerai de fer de la mine de Boukhadra, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaia.
- 14- KHENKHAR M.I, 2018, Les procédés d'Enrichissement et mise en tas du minerai de fer de l'Ouenza, Mémoire de de Master, Ecole Nationale Polytechnique
- 15- MENTA A. HASSAINE O, 2021, Essai d'enrichissement du minerai de fer de gara Djebilet (Tindouf Algérie) par séparation magnétique et lixiviation, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaia.
- 16- BATOU M, 2015, Etude de l'enrichissement du minerai de fer par classification gravimétrique et séparation par flottation cas du gisement de Gara Djebilet, Mémoire de Master, Ecole Nationale Polytechnique.
- 17- HAMDINI D, 2014, Influence des réactifs sur l'enrichissement du minerai de phosphate de Djebel Onk par flottation inverse étagée, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaia
- 18- GUIROUS N, 2015, Essai de valorisation du minerai de fer de gara Djebilet par la méthode de la séparation magnétique-flottation, Mémoire de master, Ecole Nationale Polytechnique
- 19- BAALA D,2019, Caractérisation et valorisation des stériles francs de la mine de l'Ouenza, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba
- 20- ADJISSA M,2019, Analyse et caractérisation de minerai de fer de Gara Djebilet ouest (Tindouf _ Algérie), Mémoire de fin d'étude, Université Abderrahmane Mira – Bejaia
- 21- MOUSSACEB, K., & 2007, Optimisation de système de gestions de l'homogénéisation du cru et du processus de fabrication du ciment, thèse doctorat, Laboratoire de technologie des matériaux et de génien de procédés, Université Abderrahmane Mira – Bejaia.

Résumé

Résumé

Ce travail est une caractérisation et essai de traitement du minerai de fer de Sidi Maarouf par un procédé de séparation physique. L'objectif de cette étude consiste à caractériser et traiter le minerai de fer de Sidi Maarouf par méthodes physiques pour obtenir des produits concentrés répondant aux exigences strictes des consommateurs. Cependant des échantillons représentatifs sont prélevés sur site pour connaître et identifier les différents composants constituant le minerai et leurs propriétés physico-chimiques. Cette étude présente une démarche visant à améliorer la qualité du minerai de fer tout en diminuant la teneur en quartz et en alumine. Elle est basée sur une caractérisation physico-chimique de la composition du minerai de fer de Sidi Maarouf. Selon les objectifs visés pour le traitement de ce minerai, une analyse granulométrique et minéralogique est nécessaire pour mieux déterminer les caractéristiques naturelles du minerai de fer. Il en résulte que le minerai de fer de Sidi Maarouf répond aux exigences sidérurgiques pour être exploité et utilisé directement dans l'industrie.

Le résultat obtenu par la séparation physique du minerai de fer de Sidi Maarouf (lavage suivi par une séparation magnétique à haute intensité) sont très encourageants.

Mots clés : Sidi-Maarouf, oxyde de fer, séparation magnétique, lavage

Abstract

This work is a characterization and processing test of iron ore from Sidi Maarouf undergoing a physical separation process. The purpose of this research is the use of Physical methods to characterize and process iron ore from Sidi Maarouf to obtain concentrated products that meet demanding consumer requirements.

However, representative samples are taken on site for knowledge and identification. The various components that make up ores and their physicochemical properties. This study Demonstrates an approach aimed at improving iron ore quality. Based on physicochemical characterization it contains quartz and alumina.

Depending on the purpose of grain chemical treatment and mineralogical analyses are needed to better evaluate this ore and Examine the natural properties of iron ore. As a result, iron ore from Sidi Maarouf does meet steel requirements for mining and the direct use to the industry.

Results obtained from physical separation tests of iron ore from Sidi Maarouf (washing followed by a high-intensity magnetic separation) are very promising.

Keywords: Sidi-Maarouf, Iron oxide, magnetic separation, washing.