

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Chimie

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

BELKACEMI Mohammed

BOUKETAB Habiba

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : CHIMIE.

Option : CHIMIE DES MATERIAUX

Thème :

**Etude comparative des minerais de Fer de la mine de Timezrit et Adrar Gueldaman de
la région de Béjaia**

Devant le jury composé de :

Mme Z.HALEM
Mr L.BERRICHE
Mr F.AIT MERZEG
Mr S.BELKACEMI

MCB
MCB
AR
MAA

UAMOB
UAMOB
CRAPC
UAMOB

Présidente
Examineur
Promoteur
Co-promoteur

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu de nous avoir donné la santé, la patience, les moyens et l'aide afin que nous puissions accomplir ce travail.

Nous tenons particulièrement à remercier notre promoteur Mr, **F. AIT MERZEG** attaché de recherche au Centre de Recherche en Analyse Physico-chimique (CRAPC), qui a proposé le thème de ce projet et accepté de nous encadrer lors de ce travail. Nous le remercions pour son soutien, la qualité de son encadrement, sa disponibilité et sa générosité scientifique pour ses conseils très importants durant toute la période de cette recherche. Qu'il trouve ici nos sentiments de gratitude et l'expression de notre vive reconnaissance.

Nous remercions très chaleureusement notre co-promoteur Monsieur **S. BELKACEMI** Maître de Assistant à l'université AKLI Mohand Oulhadj de Bouira, pour la qualité de son encadrement, ses encouragements et ses précieux conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nos remerciements vont également à Madame **Z. HALEM** Maître de Conférences à l'Université AKLI Mohand Oulhadj de Bouira, pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire de Master.

Nous remercions également Mr, **L. BERRICHE** Maître de Conférences à l'Université AKLI Mohand Oulhadj de Bouira, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos vifs remerciements vont aussi à nos parents pour leurs encouragements, amour et soutien. Merci d'être à nos côtés et d'avoir toujours cru à notre réussite.

Enfin, nous tenons à remercier très chaleureusement tous mes ami(e)s pour leur aide et leurs encouragements.

Merci à tous

Dédicaces

A mes chers parents,

*A mes frères, leurs
femmes et leurs enfants*

A ma sœur et sa famille

A mes amis

A tous ceux qui m'en soutenu et m'encouragé.

Mohammed

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers
parents, à ma sœur, Zahra et son mari Mohammed,
et mon unique frère et sa belle femme, mes neveux :
Taj Eddine, Mossaib, Housseem, Djallil ; ma cousine
Nacira, mes proches.*

A toutes mes amies sans exception

HABIBA

LISTES DES NOTATIONS ET ABREVIATIONS

MMSD: Mining Minerals and Sustainable Development

S.E : Sud-est

LTMGP : Laboratoire de Technologie des Matériaux et du Génie des Procédés

Q_i : Masse initiale à quarter

k : Coefficient de répartition de la minéralisation

D : Diamètre de plus gros grain

m : Masse déterminant le nombre de quartage

DRX : Diffraction des Rayons X

FX : Fluorescence X

FTIR : Infrarouge Transformer Fourier

S M : Séparation magnétique

SMHI : Séparateur magnétique à haute intensité

SMBI : Séparateur magnétique à basse intensité

λ : Longueur d'onde des rayons X incidents

IR : Infrarouge

CRAPC : Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques

D50 : C'est le diamètre de la maille du tamis qui permet le passage de 50%

Tr /min : Tours par minutes

P.F : Perte de fumé

LISTE DES FIGURES

FIGURE	TITRE	Page
Figure I.1	Le cycle de la mine	3
Figure I.2	Principaux flux de minerai de fer à travers le monde en 2009	6
Figure I.3	Carte de répartition des principaux gisements en Algérie	7
Figure I.4	Représentation schématique des processus de formation et transformation des oxydes de fer communs	11
Figure I.5	Minerai d'hématite spéculaire	12
Figure I.6	Minerai de limonite jaune	12
Figure I.7	Minerai de goethite	13
Figure I.8	Minerai d'ilménite	13
Figure I.9	Minerai de magnétite	14
Figure I.10	Minerai de pyrite	14
Figure I.11	Minerai de sidérite	15
Figure I.12	Situation et accessibilité de la mine de Timezrit	16
Figure I.13	Reste des installations ouvrières	17
Figure I.14	Chemin vers la mine de Gueldaman	18
Figure I.15	Direction et installations ouvrière	18
Figure II.1	Prélèvement des échantillons de minerai de fer	19
Figure II.2	Concasseur à mâchoire	20
Figure II.3	Procédure simplifiée de tamisage à sec	22
Figure II.4	Schéma optique des rayons X pour les différents plans et différents nœuds	23
Figure II.5	Schéma du principe de la spectroscopie IR	24
Figure II.6	Principe de fonctionnement de la fluorescence X	26
Figure II.7	Schéma présentant le principe de la séparation magnétique	28
Figure II.8	Séparateur magnétique à haute intensité de type laboratoire	29
Figure III.1	Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage du minerai de fer de la mine Gueldaman	33

Figure III.2	Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage du minerai de fer de la mine Timezrit	34
Figure III.3	Granulométrie par tamisage du minerai de fer de la mine Gueldaman	35
Figure III.4	Granulométrie par tamisage du minerai de fer de la mine Timezrit	35
Figure III.5	Diffraction des rayons X du minerai de fer de Gueldaman	37
Figure III.6	Diffraction des rayons X du minerai de fer de Timezrit	38
Figure III.7	Spectre infrarouge du minerai de fer de Gueldaman	39
Figure III.8	Spectre infrarouge du minerai de fer de Timezrit	39

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU	TITRE	Page
Tableau I.1	Production, réserves et principaux pays producteurs de quelques ressources minérales en 2005 (en milliers de tonnes)	5
Tableau I.2	Présentation des treize oxydes de fer ferrique, ainsi que leurs formules	9
Tableau III.1	Les modules des tamis (ouvertures des tamis en mm)	31
Tableau III.2	Les pourcentages des passants (tamisât) cumulés et des refus cumulés du minerai de fer de la mine Gueldaman	32
Tableau III.3	Les pourcentages des passants (tamisât) cumulés et des refus cumulés du minerai de fer de la mine Timezrit	33
Tableau III.4	Résultats des analyses chimiques du minerai de fer de la mine Gueldaman	36
Tableau III.5	Résultats des analyses chimiques du minerai de fer de la mine Timezrit	36
Tableau III.6	Identification des codes STM (Gueldaman)	37
Tableau III.7	Identification des codes STM (Timezrit)	38
Tableau III.8	Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec m=500g	40
Tableau III.9	Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres m=500g et A=30	40
Tableau III.10	Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres V=30tr/min et A=30	41
Tableau III.11	Résultats des rendements de séparation avec les paramètres V=30 tr/min, A=30 et m=500g	41
Tableau III.12	Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres m=500g	42
Tableau III.13	Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres m=500g et A=40	42
Tableau III.14	Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres V=30tr/min et A=40	43
Tableau III.15	Résultats des rendements de séparation avec les paramètres V=30 tr/min, A=35 et m=500g	43

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

Chapitre I

Partie théorique

I.1. Introduction	2
I.2. Diversité du secteur minier	2
I.2.1. Diversité des activités	2
I.2.2. Diversité des ressources minières	4
I.3. Marché international du minerai de fer	5
I.4. Ressources minérales en Algérie	7
I.5. Production du minerai de fer en Algérie	7
I.6. Généralités sur le minerai de Fer	8
I.6.1. Les oxydes de fer et leurs formations	9
I.6.2. Principaux minerais de Fer	12
I.7. Présentation des deux mines	15
I.7.1. Présentation de la mine de Timezrit	15
I.7.2. Présentation de la mine de Gueldaman	17

Chapitre II

Mise en œuvre expérimentale des techniques d'analyses et de traitements

II. Introduction	19
II.1. Échantillonnage	19
II.2. Préparation mécanique des échantillons	20
II.2.1. Concassage (0 à 4 mm)	20
II.2.2. Broyage	21
II.2.3. Analyse granulométrique	21
II.3. Méthodes de caractérisations	22
II.3.1. Analyse par diffraction des rayons X (DRX)	23
II.3.2. Analyse par spectroscopie infrarouge (IR)	23

II.3.3. Analyse par spectrométrie à fluorescence X	25
II.4. Séparation des minéraux	26
II.4.1. Principe de la séparation magnétique	27
II.4.2. Protocole expérimental	28

Chapitre III

Caractérisations minéralogique et physico-chimiques des minerais de fer

III.1. Introduction	30
III.2. Caractérisation dimensionnelle de minerai de fer brut	30
III.2.1. Classement dimensionnel par tamisage	31
III.2.1.1. Matériels utilisés	31
III.2.1.2. Calcul des modules des tamis	31
III.2.1.3. Analyse granulométrique	32
III.2.1.4. Variation du rendement pondéral en fonction de la granulométrie	33
III.2.1.5. Courbe granulométrique	34
III.3. La composition chimique	36
III.3.1. Analyse chimique par la fluorescence X	36
III.3.2. Analyse minéralogique par la diffraction des rayons X	37
III.3.3. Analyse par spectrométrie infrarouge (FTIR).....	38
III.4. Séparation des minéraux	39
III.4.1. Optimisation des principaux paramètres de la séparation magnétique du minerai de fer de Gueldaman.....	39
III.4.2. Optimisation des principaux paramètres de la séparation magnétique du minerai de fer de Timezrit	41

Conclusion générale

Conclusion générale	44
----------------------------------	----

Références bibliographique

ANNEXES

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Au lendemain de l'indépendance, l'industrie minière algérienne a dû faire face à une situation particulièrement délicate : aux difficultés d'ordre technique communes à tous les secteurs d'activité et résultant du départ de la majorité des cadres européens se sont ajoutées des difficultés d'ordre économique.

La plus grande part de la production minière algérienne étant exportée, son volume dépend étroitement de la conjoncture internationale. La situation très défavorable du marché des minerais de fer à teneur moyenne mettait en péril l'équilibre financier et l'équipement des exploitations. L'année 1963 était marquée par l'abandon par les concessionnaires des mines de Béni-Saf, du Zaccar et de Timezrit [1].

La Wilaya de Béjaia possède des atouts et potentialités considérables mais inexploitées. On y trouve, par exemple, les deux mines de fer de Timezrit et Gueldaman, laissées à l'abandon pendant plusieurs années.

Le but de cette étude est l'exploration des minerais de fer de la région de Bejaia, ce travail est composé de trois volets : un échantillonnage des minerais de fer dans deux sites qui situés au gisement de Timezrit et Adrar Gueldaman, ensuite les échantillons prélevés soumis à une préparation mécanique (concassage, broyage et tamisage) et enfin les échantillons représentatifs seront caractérisés par différentes méthodes d'analyse physico-chimiques minéralogique à savoir : Séparation magnétique, DRX, FX et FTIR.

Notre travail est subdivisé en trois chapitres, le premier chapitre est une étude bibliographique sur le minerai de fer, avec quelques statistiques et un aperçu général sur les deux mines de Timezrit et Gueldaman. Le deuxième chapitre est consacré aux différentes techniques utilisés dans le traitement mécanique ainsi que les analyses physico-chimiques. Les résultats obtenus et leur discussion a été abordés dans le dernier chapitre. En fin, on termine avec une conclusion générale.

CHAPITRE I

PARTIE THEORIQUE

I.1. Introduction

L'exploitation minière a pour but essentiel d'atteindre une extraction maximale des minéraux en prenant en considération des aspects économiques, environnementaux et l'emplacement des gisements [2].

En égard à ses caractéristiques, le fer est un minerai largement demandé, il se trouve dans l'écorce terrestre sous différentes formes : hématite, magnétite, goethite, limonite, sidérite, etc

I.2. Diversité du secteur minier

Parler du secteur minier dans son ensemble peut parfois sembler dérisoire au vu de la diversité qui le caractérise : diversité des activités, des ressources, des implantations géographiques, des modes d'exploitation, etc. Cette première section va ainsi permettre de donner un aperçu général de ce secteur souvent mal-connu et d'en comprendre les originalités.

I.2.1. Diversité des activités

L'activité minière est le plus souvent associée à la seule extraction des ressources minérales du sous-sol de la terre. D'autres activités sont pourtant essentielles avant et après l'extraction : il s'agit du cycle de la mine traditionnellement composé de cinq phases Figure I.1.

Afin d'exploiter un gisement [3], il est tout d'abord nécessaire de le découvrir : c'est la phase d'exploration. Cette étape comprend différentes activités telles que la recherche de données préalables, la prospection (c'est-à-dire la recherche d'éléments minéralisés en surface), les levées géochimiques et géophysiques, l'évaluation des réserves et les démarches pour l'obtention d'une concession minière auprès des autorités notamment. Cette première phase est cruciale dans le sens où elle représente un investissement conséquent pour les sociétés minières sans assurance de trouver un gisement économiquement exploitable.

Une fois qu'un gisement s'avère économiquement exploitable, des études doivent être réalisées afin de s'assurer de la faisabilité du projet [3] (enquêtes publiques, études d'impact environnemental, etc.). Les accords obtenus, il s'agit ensuite de préparer le site pour l'exploitation, que cela soit des infrastructures industrielles (bureaux, usines, etc.) ou sociales si elles s'avèrent nécessaires pour accueillir les futurs employés (habitations, hôpitaux, écoles,

etc.). Vient enfin le moment de l'exploitation de la mine qui ne se résume pas seulement à l'extraction du minerai. Les opérations mises en œuvre à ce stade peuvent être divisées en trois ou quatre étapes principales :

- ❖ Les travaux nécessaires pour avoir accès au gisement, que cela soit le déblaiement (ou la découverte) pour les mines à ciel ouvert ou le percement de galeries, de puits ou de descenderie pour les mines souterraines ;
- ❖ Les travaux liés à l'extraction du minerai « tout venant » et à son tri préliminaire (éventuellement nécessaire pour minimiser la quantité de roches stériles)
- ❖ Un ensemble d'opérations de traitement, regroupé dans une usine d'enrichissement, qui a pour objectif de séparer les éléments valorisables des éléments stériles (prétraitements impliquant divers produits chimiques et réactifs, séparations gravimétriques, magnétiques ou électrostatiques ou flottation)[3]. Le produit issu de l'usine s'appelle le « concentré ». Dans la plupart des cas, il constitue le produit marchand de la mine.
- ❖ Dans certains cas, une usine métallurgique peut être édifée sur le site d'exploitation permettant de transformer le concentré en forme métallique.

Une fois les réserves épuisées, la mine ferme. Il s'agit alors de réhabiliter le site d'exploitation en vue d'en permettre un nouvel usage. Cette opération englobe à la fois des activités de dépollution et de résorption des déchets et de sécurisation des sites.

La dernière phase du cycle de la mine, et aussi la plus longue, est ce que l'on appelle l'après-mine. Elle consiste en des opérations de suivi et de contrôle du site visant la prévention et la maîtrise des impacts résiduels de l'activité.

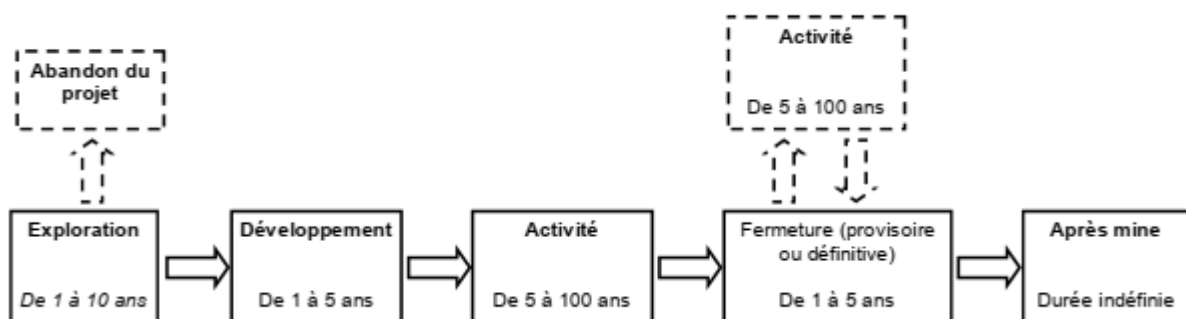


Figure I.1: Le cycle de la mine [4]

I.2.2. Diversité des ressources minières

Les ressources minérales englobent un grand nombre de substances. Traditionnellement, elles sont regroupées en quatre catégories : les métaux, les minéraux industriels (barytine, fluorine, kaolin, etc.), les matériaux de construction (granulats, calcaire, gypse, etc.) et les ressources énergétiques (comme le charbon). Si la demande et les prix des ressources minérales sont globalement en nette progression du fait de la croissance économique chinoise et d'un manque d'investissements miniers durant les dix dernières années, il existe de grandes disparités entre les substances qui s'expliquent essentiellement par leur disponibilité, la façon de les obtenir (taille des gisements, teneur, récupération, recyclage) et leur utilisation. Par exemple, le charbon, dont les réserves sont importantes et qui nécessite peu de transformations coûtera moins cher à l'achat que des métaux précieux dont les réserves sont plus restreintes et dont le taux de métal récupérable se mesure en grammes par tonne. Par ailleurs, le développement technologique a fait apparaître des nouveaux besoins en ressources. L'exploitation du cuivre, par exemple, a commencé en 700 avant JC alors que des métaux comme le titane, le tantale ou le zircon ne sont utilisés que depuis 50 ans (Mining Minerals and Sustainable Development (MMSD), 2002b). La répartition géographique des ressources est également largement variée même si les grands pays auront également tendance à disposer d'un plus grand nombre de gisements (les grands pays miniers étant traditionnellement l'Australie, le Canada, l'Afrique du Sud, les Etats-Unis et Chine) Tableau I.1.

Tableau I.1 : Production, réserves et principaux pays producteurs de quelques ressources minérales en 2005 (en milliers de tonnes) [5]

Substances	Production	Réserves	Cours (Moyenne Octobre 2006)	Principaux pays producteurs
METAUX				
<i>Métaux précieux</i>				
			(dollars / once)	
Argent	20,3	270 - 570	11,6	Pérou, Chine, Mexique, Australie
Or	2,45	42 - 90	586	Afrique du Sud, Australie, Etats-Unis, Chine
Palladium	0,22		313	Afrique du Sud, Russie, Canada, Etats-Unis
Platine	0,22	71 - 80	1085	Russie, Afrique du Sud, Canada, Etats-Unis
<i>Métaux de base et alliages</i>				
			(dollars / tonne)	
Cuivre	14 900	470 000 – 940 000	7 482	Chili, Etats-Unis, Indonésie, Pérou
Etain	280	6 100 – 11 000	9 645	Chine, Indonésie, Pérou, Bolivie, Brésil
Nickel	1 500	62 000 – 140 000	30 572	Russie, Etats-Unis, Canada, Indonésie, France (Nouvelle Calédonie)
Plomb	3 280	67 000 – 140 000	1 486	Chine, Etats-Unis, Australie, Pérou, Mexique
Zinc	10 100	220 000 – 460 000	3 805	Chine, Australie, Pérou
MINERAUX INDUSTRIELS				
Ciment	2 220 000	-	100	Chine, Etats-Unis, Inde, Japon
Potasse	31 000	8 3000 000 – 17 000 000	-	Canada, Russie, Biélorussie, Allemagne, Israël, Jordanie
RESSOURCES ENERGETIQUES				
Charbon	4 973 000	1 000 900 000	36 (moyenne 2006)	Chine, Etats-Unis, Australie, Afrique du Sud

I.3. Marché international du minerai de fer

La consommation excessive des métaux par les pays émergents à l'instar de la Chine, l'Inde ou le Brésil a entraîné une augmentation des coûts des métaux pendant la dernière décennie, ce qui nécessite, subséquemment, à exploiter de nouveaux gisements, c'est bien que l'exploitation du minerai de fer en Algérie a pris, dès lors, une large essor [6]. Après la deuxième guerre mondiale, la production de l'acier a été conçue spécialement en vue de la reconstruction en Europe et afin de satisfaire la demande excessive des biens (accessoires, automobiles, matériels, électroménagers,...) auquel le monde a vécu. Après et à partir des années 2000, la production s'est encore forcée du fait de la puissante requête d'acier par les pays industriels [7]. En fait, l'entretien du coût du minerai de fer s'est effectué entre les

producteurs (les exploitants des mines) et les clients (les producteurs d'acier en Asie et en Europe figure I.2, une fois qu'un certain nombre d'accords et de contrats annuels ont été signés, le reste des exploitants arrangent la démarche et un coût du marché est fixé. De nos jours, la plupart du minerai de fer employé par l'industrie de Chine découle de sources chinoises ou de sources qui ne sont pas soumises à des conventions basées sur un coût de référence. L'adaptation d'un prix de référence a pour but crucial de diriger les accords qui doivent accompagner la première convention annuelle sur la valeur. En Amérique du Nord, le coût du minerai de fer est discuté selon les conventions du marché Nord-Américain [8].

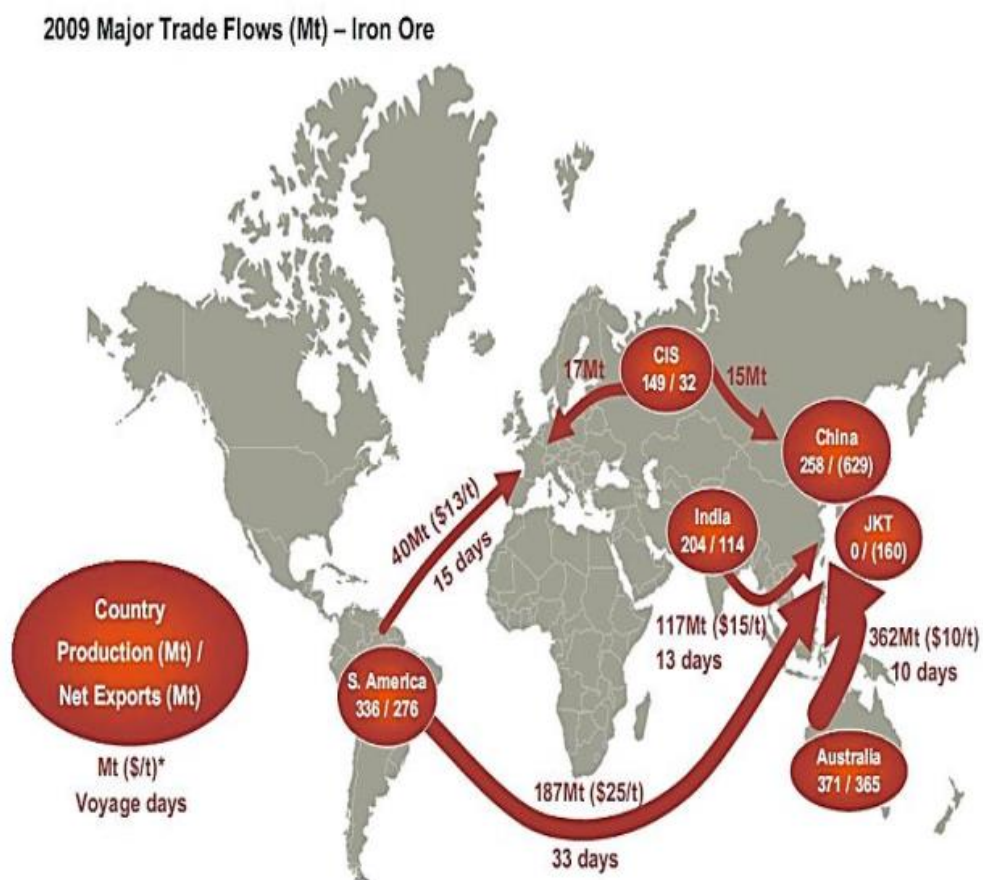


Figure I.2 : Principaux flux de minerai de fer à travers le monde en 2009 [9]

I.4. Ressources minérales en Algérie

L'Algérie est un pays connu par sa richesse en ressources énergétiques (hydrocarbures, gaz naturel, énergie nucléaire, énergie solaire, énergie éolienne) et minières (fer, or, argent, cuivre, plomb, zinc, baryte, phosphates, feldspath, terres rares, granulats...), la figure I.3 montre les principaux gisements des minerais en Algérie.

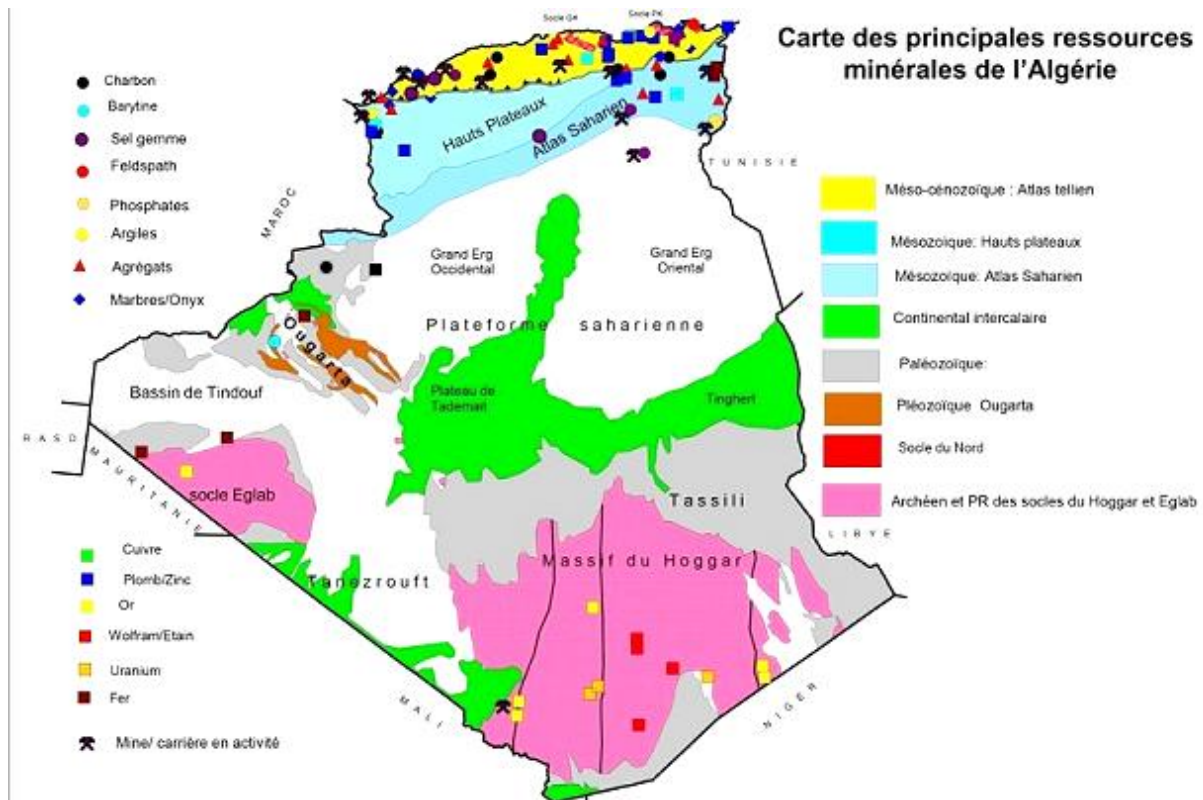


Figure I.3 : Carte de répartition des principaux gisements en Algérie [10]

I.5. Production du minerai de fer en Algérie

En dehors des hydrocarbures, le fer est l'un des principales richesses minières de l'Algérie, L'exploitation des gisements des minerais de fer a toujours eut une place prépondérante dans l'industrie extractive du pays.

Les ressources nationales en matière du minerai de fer sont localisées et réparties sur six gisements dont ceux de l'Ouenza et Boukhara situés à l'Est du pays, exploités par le

groupe Arcelor-Mittal Tébessa, les réserves géologiques sont de 87 millions de tonnes avec 48 % Fe. Avec une production de 2 millions de tonnes/an, la minéralisation hématitique FeO_3 encaissée dans les calcaires récifaux Aptiens. Actuellement dans la même région, le gisement de Chaabet-El-Ballout (Souk-Ahras), de réserves géologiques de 10 millions de tonnes avec 53% Fe. La minéralisation ferrifère localisée au contact Calcaires-formations grésomarneuses du Crétacé, et actuellement en phase d'étude afin de relancer son exploitation.

La filiale SOMIFER-spa, du groupe Ferphos à travers ses mines de Khanguet (W. Tébessa), Sidi Maarouf (W. Jijel), Djebel Anini (W. Sétif) ce dernier a des réserves géologiques de 6.75 millions de tonnes avec 55 % Fe, la minéralisation hématitique encaissée dans les calcaires du lias sous forme de filons et de poches. Le gisement de Rouina (W. Ain Defla) assure une production du minerai de fer représenté par de l'hématite destinée essentiellement pour la fabrication du ciment [11].

Certains autres gisements de fer de réserves plus réduites sont dans les prospectives d'une exploitation et d'autres épuisées ou en voie d'épuisement (Béni-Saf).

Les autres gisements non encore exploités se trouvent dans la région du Sud-ouest du pays, il s'agit de grand gisement de Gara-Djebilet : les réserves géologiques estimées jusqu'à 2 milliards de tonnes de teneur égale à 57% en fer et de minéralisation ferrifère oolithique sous forme de corps lenticulaires encaissés dans les grès du Dévonien inférieur (Praguien).

I.6. Généralités sur le minerai de Fer

Le fer est l'élément de transition le plus abondant, constituant 4.7 % en masse de la croûte terrestre. On ne le trouve pas sous l'état métallique à la surface terrestre. Par contre, on trouve les minerais principaux : Fe_2O_3 et Fe_3O_4 . Dans l'industrie, l'extraction du fer consiste à séparer le fer de l'oxygène, et est réalisée selon un procédé utilisé dès la fin du XVIIIème siècle. Il est effectué à température élevée par un traitement de réduction par le carbone (ou coke) dans un haut fourneau. Le fer est recueilli à l'état liquide, formant en refroidissant la fonte. La fonte contient 4 à 5 % de carbone et en moindre quantité d'autres éléments : Si, Mn, P et S. La fonte est cassante, difficile à souder et peu résistante. Pour être utilisée, elle doit donc être transformée en acier.

I.6.1. Les oxydes de fer et leurs formations

Il existe seize oxydes de fer, que l'on distingue en hydroxyde, oxyde-hydroxyde et oxyde de fer. Ils sont tous composés de fer (Fe) lié avec de l'oxygène (O) ou un groupe hydroxyde (OH). Dans la plupart des composés le fer est sous sa forme trivalente, on parle d'oxyde de fer ferrique (on en dénombre treize) tableau I.2. Les oxydes de fer ferrique au sens strict sont ceux où les atomes de fer sont liés à l'oxygène, de la même manière, les hydroxydes sont liés à un groupement (OH), alors que les oxyde-hydroxyde sont liés au deux groupement (O et OH) ce qui leur confère leur propriété d'insolubilité [12].

Tableau I.2 : Présentation des treize oxydes de fer ferrique, ainsi que leurs formules

Oxyde-hydroxyde et Hydroxyde	Oxydes
Goethite α -FeOOH	Hématite α -Fe ₂ O ₃
Lepidocrocite γ -FeOOH	Maghémite γ -Fe ₂ O ₃
Akaganéite β -FeOOH	B-Fe ₂ O ₃
Schwertmannite Fe ₁₆ O ₁₆ (OH) _y (SO ₄) _z .nH ₂ O	E-Fe ₂ O ₃
Feroxyhyte δ -FeOOH δ' -FeOOH	
Ferrihydrite Fe ₅ HO ₈ .4H ₂ O	
Bernalite Fe(OH) ₃	
Green Rusts Fe _x ^{III} Fe _y ^{II} (OH) _{3x+2y-z} (A ⁻) _z A ⁻ = Cl ⁻ ; ½ SO ₄ ²⁻	

La plupart des oxydes de fer ont une structure cristalline où le degré de la structure ainsi que la taille des cristaux dépend des conditions de formation. Seuls la ferrihydrite et la schertmannite ont une faible structure cristalline, ce qui fait d'elles des oxydes peu stables, qui ne sont souvent qu'un état de transition vers un oxyde de fer plus stable. L'arrangement des atomes est régi par l'arrangement spatial des anions qui ont une taille plus importante. Le diamètre d'un ion (O, -2) est de 0,14 nm alors que celui de l'ion ferrique Fe³⁺ est 0,065 nm. Il existe deux systèmes pour représenter la structure cristalline des oxydes de fer, l'une en terme d'arrangement spatial des anions et l'autre en fonction du type d'assemblage spatial à partir du cation (octaédrique ou tétraédrique). L'ensemble de ses caractéristiques permet d'obtenir une structure spatiale particulière pour chaque oxyde de fer.

La structure des cristaux d'oxydes de fer varie de façon importante pour un même assemblage ionique, celle-ci dépend de la diffusion des ions, de l'adsorption des ions, de la possibilité de déshydratation, finalement des processus de transport et des réactions chimiques à la surface. Une des caractéristiques majeures est la supersaturation en ions ferriques et oxygène ou hydroxyde dans la solution, permettant ainsi un taux de croissance du cristal important [12]. La structure du cristal est responsable de nombreuses caractéristiques physico-chimiques de celui-ci comme l'allure de son spectre aux rayons infrarouge, sa porosité, son comportement magnétique etc.

Il est cependant nécessaire d'avoir une vue générale de leur propriété afin de mieux comprendre leur évolution quantitative. Un des processus qui requiert néanmoins un plus d'explication est la formation des oxydes de fer.

A première vue la formation des oxydes de fer nécessite deux mécanismes de base:

- ❖ la précipitation directe d'une solution contenant des ions ferreux ou ferriques
- ❖ la transformation en précurseur d'oxyde de fer par le processus de dissolution/reprécipitation ou via un état de transformation solide (réarrangements internes) (Cornell and Schwertmann, 1996).

La figure I.4, nous propose une vue générale des formations et transformations majeures permettant la mise en place des oxydes de fer principaux.

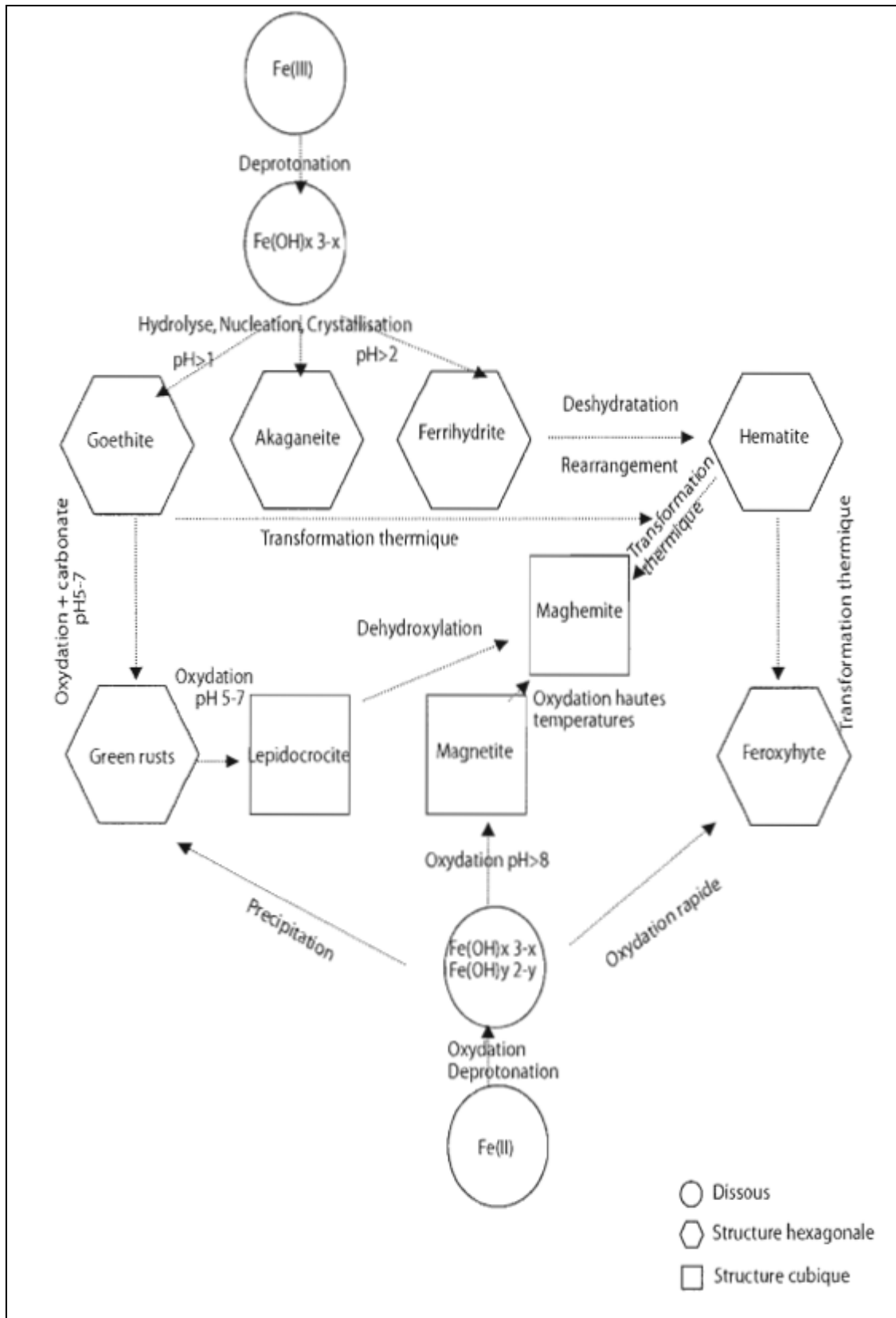


Figure I.4 : Représentation schématique des processus de formation et transformation des oxydes de fer communs [12]

I.6.2. Principaux minerais de Fer

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. Une classification pratique s'est donc naturellement mise en place, fondée sur l'espèce ferrifère dominante. Elle donne globalement une indication sur plusieurs caractéristiques du minerai : dureté, porosité, teneur en fer, teneur en produits volatils [13].

❖ Hématite

L'hématite figure I.5 est un oxyde de fer (Fe_2O_3) et se divise en deux familles. La première est l'hématite rouge ou fer oligiste qui est caractérisé par son eau de lavement de couleur sang, très tachante pour les vêtements. C'est le type de minerai le plus utilisé au niveau industriel et aussi le plus répandu dans le monde.



Figure I.5 : Minerai d'hématite spéculaire

❖ Limonite

La limonite figure I.6 est à la fois oxyde et hydroxyde de fer, elle a une couleur rouille ou jaune. Elle est abondante dans les minerais oolithiques. Les deux principaux minéraux dont fait partie la limonite est la goethite et la lépidocrocite. Notons que ce minerai n'est plus utilisé aujourd'hui dans les industries sidérurgiques car il contient du phosphore.



Figure I.6 : Minerai de limonite jaune

❖ Goethit

La goethite figure I.7 est un hydroxyde de fer ($\text{FeO}(\text{OH})$) de couleur brune, jaunâtre ou noire. Elle fait parti 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 I.7 : Minerai de goethite

❖ Ilménite

L'ilménite figure I.8 est un oxyde de fer et de titane (FeTiO_3) très répandu dans la région d'Havre St-Pierre, localité située sur la Côte Nord Québécoise. Ce type de minerai est important pour l'extraction du titane. Sa poudre est de couleur noir et elle n'est pas magnétique contrairement à l'hématite et la magnétite. L'on retrouve deux types principaux d'ilménite, celle contenant du manganèse porte le nom de pyrophanite et celle contenant du magnésium geikelite.



Figure I.8 : Minerai d'ilménite

❖ Magnétite

La magnétite figure I.9 est un oxyde de fer (Fe_3O_4). Ce type de minerai possède des propriétés magnétiques exceptionnelles et est abondant sur le pôle nord du globe terrestre. La magnétite est un très bon minerai de fer.



Figure I.9 : Minerai de magnétite

❖ Pyrite

La pyrite figure I.10 est un sulfure de fer (FeS_2) communément appelé "*or des fous*" à cause de sa grande ressemblance avec l'or. On utilise la pyrite surtout pour en extraire la grande quantité de soufre qu'elle contient (53.5% de soufre et 46.5% de fer) et pour la production d'acide sulfurique. La pyrite demande d'être conservée dans un endroit sec, en présence d'humidité elle se désagrège en acide sulfurique et en oxyde de fer. Attention!!! Cette pierre produit de l'anhydride sulfurique si elle est chauffée, ne respirer jamais la vapeur se dégageant de cette combustion.



Figure I.10 : Minerai de pyrite

❖ Sidérite

La sidérite figure I.11 est un carbonate de fer (FeCO_3) de couleur gris pâle ou jaune pâle. Elle devient brune ou noire en présence d'humidité. Elle contient 62% de fer et 38% de gaz carbonique. La sidérite est rarement pure à l'état naturel, on la rencontre le plus souvent avec le titane ou le nickel. Lorsque le minerai est concentré et contient peu d'impureté, il peut-être exploité commercialement. La sidérite devient magnétique lorsqu'elle est chauffée et s'altère en limonite ou goethite [13].



Figure I.11 : Minerai de sidérite

I.7. Présentation des deux mines

I.7.1. Présentation de la mine de Timezrit :

❖ Situation et accessibilité:

Située dans la commune de Timezrit (Anciennement appelé Tribu des Ath IMMEL), à 40 km de la ville de Bejaia, s'étend : l'Adrar Ougherbi (1.138m) et l'Azrou-n-tachakoult (784m) au sud, jusqu'à la vallée de la Soummam. Administrativement, elle est délimitée par les communes suivantes : – Au nord, par FENAYAIL-MATEN – Au sud, par MCISNA et BENIDJELLIL – A l'Est par SEMAOUNE – A l'ouest, par SIDI-AYAD et SIDI-AÏCH.



Figure I.12 : Situation et accessibilité de la mine de Timezrit

La mine de Timezrit est facilement accessible grâce à une diversité de zones et de moyens d'accès notamment la présence de l'arrêt de bus dans le village El hed au centre de Timezrit, (venant depuis la RN 26 qui relie El kseur à de Sidi Aich puis prendre le CW 22) et la présence de la gare ferroviaire d'Illemateun à 3 km de la mine [14].

❖ **Début d'exploitation :**

Nous ignorons le début exact de l'exploitation de la mine de Timezrit mais une chose est sur est que la région de Bougie apparaît dans l'étude de Mr Fournel (les richesses minérales de l'Algérie en 1845) puis M. Ville en 1853 comme une région très riche en minéraux de fer. Son exploitation n'est rendue active qu'à partir de l'année 1902. Selon le témoignage de Mr Ahmed Berkani ex directeur de la mine dans la période post coloniale, sa découverte était dans l'année 1900 et son exploitation commence des 1902.

❖ Les installations industrielles:

Les travaux d'extraction se faisaient par le moyen de la traction animale mais rapidement modernisé en équipements dotés d'une grande technologie (la production intensive).



Figure I.13 : Reste des installations ouvrières

I.7.2. Présentation de la mine de Gueldaman :

L'Adrar Gueldaman s'étend à quelques kilomètres au sud-est (S.E) d'Akbou. Sa face nord semble correspondre à première vue au pendage de la roche, très peu visible. En haut de sa face sud, une longue falaise rocheuse semble marquer la présence d'une faille.

L'Adrar Gueldaman est un grand massif rocheux fortement minéralisé. Le fer y existe sous toutes ses formes. Le tonnage du minerai de fer actuellement reconnu (hématite) promet une longue et fructueuse exploitation.

Plusieurs grottes s'ouvrent sur le parcours de cette falaise, elles ont toute une orientation générale perpendiculaire à celle de la montagne (comme la faille qui coupe la montagne à son extrémité ouest, juste au dessus de la Soummam). Elles sont toutes en pente descendante vers le nord, ce qui génère certaines questions.



Figure I.14 : Chemin vers la mine de Gueldaman



Figure I.15 : Direction et installations ouvrière

CHAPITRE II

LA MISE EN ŒUVRE EXPERIMENTALE DES TECHNIQUES D'ANALYSES ET DE TRAITEMENTS

Chapitre II : Mise en œuvre expérimentale des techniques d'analyses et de traitements

II. Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'illustrer la caractérisation physico-chimique des échantillons bruts, provenant des deux mines des régions de Timezrit (mine de Timezrit) et Bouhamza (mine de Gueldaman), cette étude a été réalisée par plusieurs méthodes d'analyses quantitatives et qualitatives, permettant de mieux définir les caractéristiques granulométriques, pétrographiques, minéralogiques, chimiques et thermiques. Les techniques d'analyses utilisées sont :

II.1. Échantillonnage

Le but visé est d'obtenir un éventail d'échantillons représentatifs qui reflète toutes les caractéristiques physiques et chimiques de l'ensemble des deux mines étudiées.

Pour cela on a extrait plusieurs échantillons de rochers dans des endroits différents (voir la figure ci-sous) à l'aide d'une pioche. Une quantité suffisante a été récupérée pour les différentes analyses et traitements à effectuer au laboratoire. Les échantillons prélevés sont mis dans des sacs en plastiques numérotés pour qu'ils ne soient pas contaminés et identifiés des endroits tirés.



Figure II.1 : Prélèvement des échantillons de minerai de fer

II.2. Préparation mécanique des échantillons

La préparation mécanique (concassage, tamisage) a été réalisée au Laboratoire de Technologie des Matériaux et du Génie des Procédés (LTMGP) de l'Université de Bejaia. Elle consiste en une série d'opérations dont le concassage, le quartage et le tamisage.

Avant de procéder à une analyse quelconque d'un échantillon, celui-ci subit un traitement mécanique qui représente la phase la plus délicate pour obtenir un échantillon répondant à différentes normes de traitement. Pour atteindre ce but, nous appliquons les procédés mécaniques suivants :

II.2.1. Concassage (0 à 4 mm)

Le concassage est un traitement mécanique qui sert à réduire le diamètre des grains de la matière première à un diamètre inférieur, grâce à un concasseur à mâchoire de type Pulverisette de marque FRITSCH et de série 01302.

La matière première initiale est sous forme de tout-venant de diamètre supérieur à 5cm. A l'aide du concassage, le diamètre des grains subit une réduction à un diamètre d'ordre de 4 mm [15].



Figure II.2 : Concasseur à mâchoire

II.2.2. Broyage

C'est une opération de réduction des morceaux concassés à une dimension plus fine (<1mm) afin de passer à des opérations d'enrichissement ultérieurs. Le broyeur est constitué d'une chambre de résolution qui contient le produit à fragmenter et des corps broyant, la rotation provoque la fragmentation des particules par choc et cisaillement.

❖ Homogénéisation et quartage

Le quartage est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon. Avant cette opération, il est nécessaire de procéder à une homogénéisation qui est un procédé mécanique qui consiste à mélanger l'échantillon de minerai de base et le rendre homogène, par transformation en quatre quarts égaux, dont on prélève deux quarts opposés, les deux autres quarts seront ainsi gardés comme témoins. C'est une opération de réduction de poids de l'échantillon pour l'analyser.

Ce procédé obéit à la loi de RECHARDSE exprimée par les relations suivantes [16] :

$$Q_i \geq kd^2 \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$$(1) \quad m \leq Q_i/kd^2$$

$$(2) \quad m = 2^n$$

Avec :

Q_i : Masse initiale à quarter.

m : Masse déterminant le nombre de quartage, utilisée comme moyen de vérification.

d : Diamètre de plus gros grain.

k : Coefficient de répartition de la minéralisation (matériau hétérogène, $k = 1$).

n : Nombre de quartage.

II.2.3. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est définie comme étant la séparation d'un ensemble de particules en fonction de leur grosseur afin d'obtenir des ensembles de particules appelés fractions granulométriques. Ces fractions sont constituées de particules dont la grosseur couvre un intervalle relativement restreint et diminue d'une fraction à l'autre [15].

Ce type d'analyse vise habituellement à évaluer dans quelle tranche granulométrique, le degré de libération est important.

Lors d'un essai de tamisage à sec, la série de tamis (NF-ISO 3310-2) sélectionnés est empilée verticalement selon une taille des ouvertures de tamis qui décroît de haut en bas. Le tamis le plus grossier est sur le dessus de la pile et celui le plus fin est en dessous.

L'échantillon sec concassé pesant 1000 grammes est introduit sur une série de dix tamis d'ouvertures suivantes : (4mm, 2mm, 1,6mm, 1mm, 0,9mm, 0,71mm, 0,5mm, 335 μ m, 200 μ m, 180 μ m, 80 μ m), du haut et la pile entière est soumise à un mouvement de secousses horizontales grâce à un appareil de tamisage spécialement conçu à cette fin appelée tamiseuse. Le temps de tamisage est fixé à 15 minutes.

La (figure II.3) illustre de façon simplifiée de la procédure de tamisage à sec.

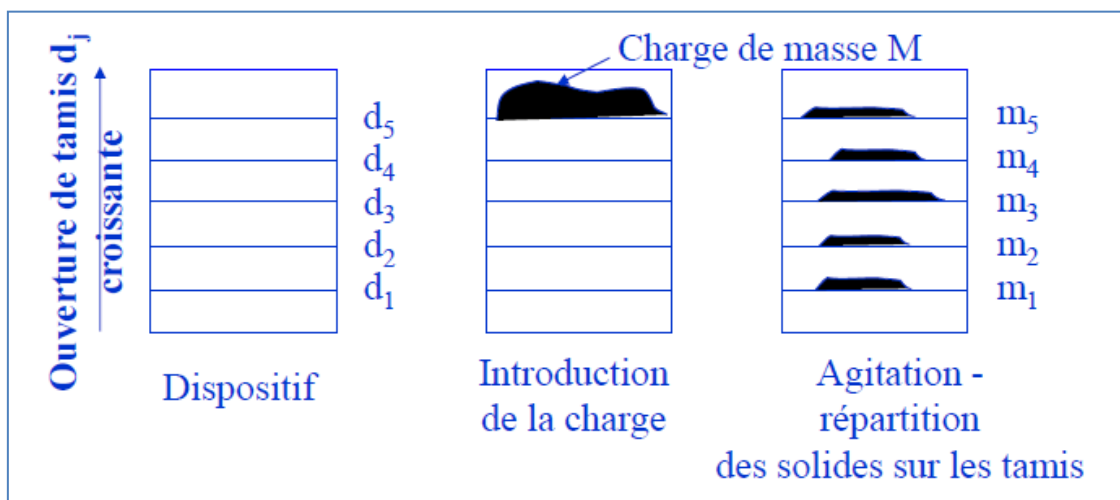


Figure II.3 : Procédure simplifiée de tamisage à sec

Toutes les fractions retenues sur les différents tamis ainsi que celles recueillies dans le bas de la pile doivent être pesées séparément et portées sur un tableau pour la construction de la courbe granulométrique.

II.3. Méthodes de caractérisations

Après avoir préparé les échantillons de deux minerais de fer, notre prochaine étape dans la caractérisation consiste à déterminer la composition en minéraux du Fer, pour atteindre cet objectif une série de méthodes de caractérisation sont faites, telles que : DRX, FX et FTIR.

II.3.1. Analyse par diffraction des rayons X (DRX) :

La diffraction aux rayons X permet l'étude de la structure cristalline d'un composé car les rayons X sont diffractés selon un profil très caractéristique, dans le cas des polymères, la diffraction des rayons X est utilisée pour étudier l'arrangement et l'orientation des chaînes au sein du matériau [17]. La caractérisation d'un composé par la diffraction aux rayons X est basée sur la position et l'intensité des raies de diffraction. L'angle de diffraction (2θ) est déterminé par la distance entre les plans de diffraction (d) (voir la figure II.4), qui sont calculés à l'aide de la relation de Bragg :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (\text{II.2})$$

Tel que :

n : ordre de diffraction

d : distance entre les deux plans

λ : Longueur d'onde des rayons X incidents.

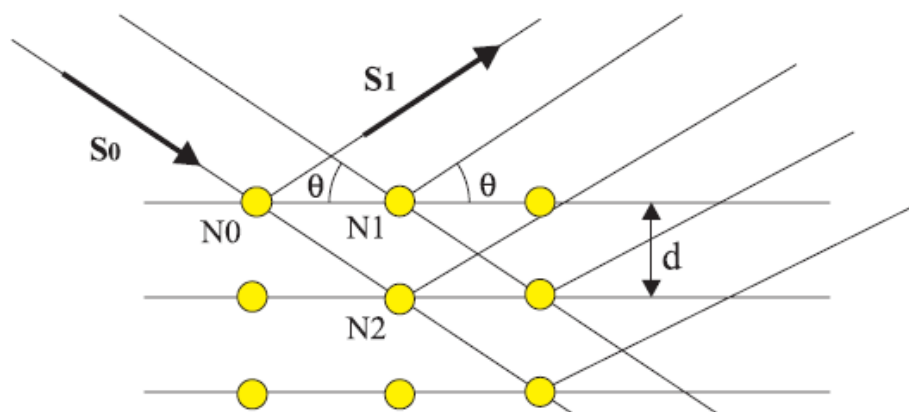


Figure II.4 : Schéma optique des rayons X pour les différents plans et différents nœuds

L'appareillage utilisé pour notre étude est un diffractomètre de type X Pert PRO θ - θ système de marque Panalytical. Il est doté d'un tube à anticathode en Cu, un PDS pass (programme divergence slit, programme antiscatter slit) et une plate forme Spinner. La tension utilisée est de 45 kV et le courant est de 30 mA.

II.3.2. Analyse par spectroscopie infrarouge (IR)

La spectrophotométrie infrarouge est une méthode d'analyse non destructive pour l'échantillon, basée sur l'étude d'absorption par l'échantillon, ainsi une méthode d'analyse quantitative et à la fois qualitative. C'est une méthode d'analyse des environnements locaux quelque soit l'état physique du système à étudier [18].

❖ Principe

Les atomes et les groupements fonctionnels constituant la matière, sont animés de mouvement vibratoire, si ces constituants sont exposés à un rayonnement électromagnétique dont la fréquence de vibrations proche de celle de l'une ou l'autre de leurs fréquences de vibrations propres, ils entrent en résonance, empruntant pour ce faire, de l'énergie dans le faisceau incident. Il ya alors absorption d'énergie.

Sous l'effet d'un rayonnement électromagnétique infrarouge, les liaisons moléculaires absorbent une partie de cette énergie et vibrent selon des mouvements de différents types (vibration d'élongation ou de déformation).

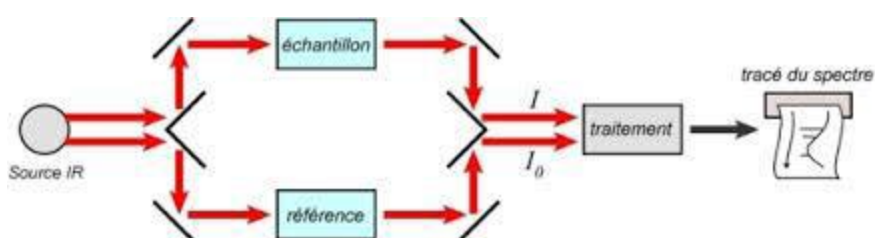


Figure II.5 : Schéma du principe de la spectroscopie IR

Le spectre IR conduit à l'obtention d'un spectre pour chaque longueur d'onde, le rapport des intensités transmittance (T) qui est exprimée en pourcentage (%) sur les spectres que nous avons obtenus. De même les longueurs d'onde sont exprimées sous forme de nombre d'onde ν (cm^{-1}) sachant que $\nu = 1/\lambda$ (pour moyen IR : 400-4000 cm^{-1}).

Le domaine infrarouge, dans lequel se trouvent les énergies de vibration des liaisons moléculaires, est divisé en trois zones :

- ❖ Proche infrarouge : $\lambda = 0.8$ à $2.5 \mu\text{m}$ (ou $\nu = 4000$ à 12500cm^{-1}).
- ❖ Moyen infrarouge : $\lambda = 2.5$ à $25 \mu\text{m}$ (ou $\nu = 400$ à 4000cm^{-1}).
- ❖ Lointain infrarouge : $\lambda = 25$ à $1000 \mu\text{m}$ (ou $\nu = 10$ à 400cm^{-1}).

Les échantillons à analyser sont réduits en poudre puis mélangés au (KBr) sec à raison de 3 mg de poudre de minéral à analyser avec 97 mg de KBr. La poudre obtenue est ensuite compactée avec une pompe à pression de 20 KN pour obtenir une pastille de façon à l'analyser.

Les analyses par spectroscopie infrarouge (IR) sont effectuées dans le laboratoire de chimie industrielle de l'université A-Mira de Bejaia à l'aide d'un spectrophotomètre IR de type Affinity-1 de marque SHIMADZU.

II.3.3. Analyse par spectrométrie à fluorescence X

C'est une méthode non destructive, qui exploite la fluorescence des éléments dans le domaine des rayons X, pour obtenir les renseignements quantitatifs sur la composition de l'échantillon.

❖ Principe

La spectrométrie de fluorescence X est une émission de rayons X, elle caractérise les éléments atomiques qui composent l'échantillon. L'énergie des photons X est de l'ordre de grandeur de l'énergie d'ionisation des électrons de cœur. Lorsqu'un photon X rencontre un atome, il a donc une probabilité d'éjecter un électron de cœur par effet photoélectrique, l'atome est alors dans un état excité. La désexcitation se fait par une transition électronique : un électron d'un niveau plus élevé « descend » pour occuper la case quantique vide (place laissée vacante par l'électron éjecté). Cette transition électronique provoque l'émission d'un photon X. En analysant le spectre de rayons X émis par la matière, on peut en déduire la composition élémentaire de l'échantillon (concentrations massiques) et à partir d'étalonnage, il est possible de déterminer l'épaisseur de revêtements. La technique d'analyse comprend deux parties :

- ❖ Une source d'excitation : provoque l'émission d'un spectre de rayons X caractéristique de la composition de l'objet.
- ❖ Un détecteur est un analyseur de rayonnement : identifie les raies composant le spectre [19].

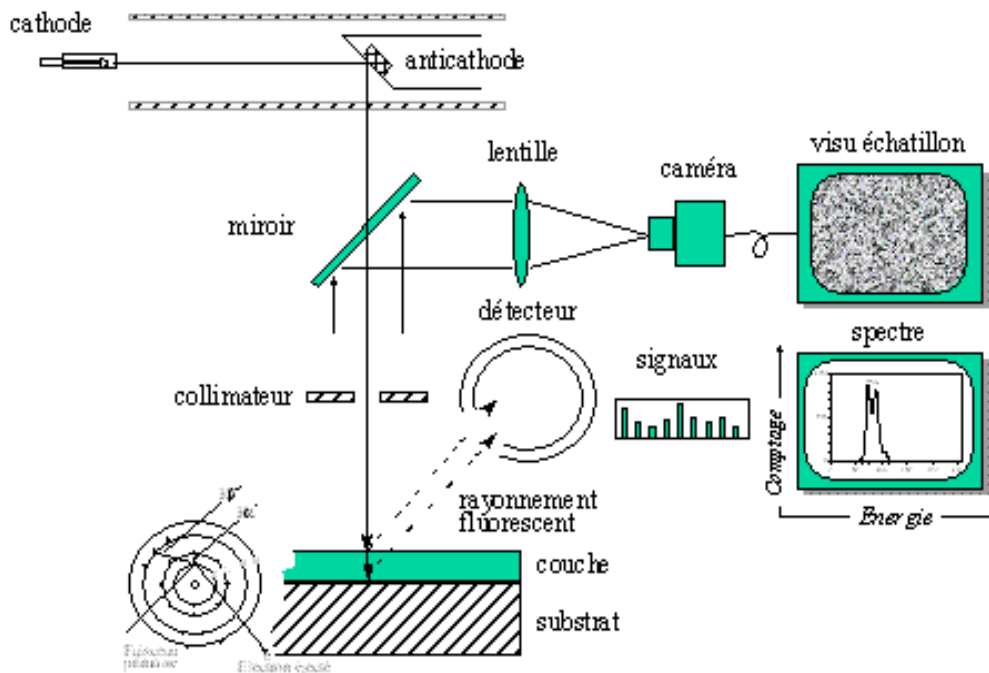


Figure II.6 : Principe de fonctionnement de la fluorescence X

Les analyses chimiques ont été réalisées au niveau de plateau technique de centre de recherche CRAPC à l'aide d'un spectromètre de Fluorescence des Rayons X « ZSX Primus II de Rigaku ».

II.4. Séparation des minéraux

Les essais de séparation envisagés pour les échantillons des deux minerais sont la séparation magnétique utilisée dans le but d'obtenir un matériau concentré en fer.

❖ Essai de séparation magnétique

Cette technique de séparation est utilisée pour éliminer la magnétite par séparation magnétique à basse intensité et des oxydes de fer tel que l'hématite, à haute intensité. Donc l'enrichissement par voie physique, ne permet d'éliminer que l'exogangue. Il se peut donc, que les caractéristiques du concentré obtenu soient encore insuffisantes pour aller au-delà, il est nécessaire de s'attaquer à l'endogangue avec d'autres méthodes. En effet, les moyens physiques connus sont relativement impuissants pour éliminer l'endogangue, même si les techniques de traitement de particules fines et très fines s'améliorent rapidement.

Cet essai est basé sur l'extraction des minéraux de notre échantillon, présentant des propriétés magnétiques différentes, de manière à être attirés par la force engendrée par un système magnétique.

II.4.1. Principe de la séparation magnétique

Le principe de la séparation magnétique est basé sur :

1- L'interaction entre le champ magnétique appliqué et celui produit par les particules à séparer. Pratiquement, la séparation magnétique peut être réalisée de deux manières :

- ❖ En agissant directement sur la substance à séparer en utilisant l'effet Meissner, les forces de Lorentz et les champs magnétiques à gradient élevé.
- ❖ Par addition d'agents magnétiques ou traitement chimique communiquant des propriétés magnétiques aux matériaux à séparer (grillage, réduction, oxydation).

2- Exploitation des propriétés magnétiques des matériaux afin d'effectuer leur séparation. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique [20].

À partir de cette propriété, les matériaux peuvent être divisés en trois classes qui sont les suivantes :

- ❖ La première classe est composée des matériaux ferromagnétiques dont la susceptibilité magnétique est très forte.
- ❖ La deuxième classe comporte des matériaux paramagnétiques qui présentent une susceptibilité magnétique faible.
- ❖ La troisième classe est constituée des matériaux diamagnétiques possédant une susceptibilité nulle.

Dans notre cas, le minéral à extraire est un mélange de l'hématite et goëthite, et sa susceptibilité magnétique est faible, ce matériau est donc un minéral paramagnétique, pour son extraction on utilise un séparateur magnétique à basse intensité (SMBI).

La séparation magnétique est accomplie par entraînement des matériaux susceptibles lors de leur passage à travers un champ magnétique. Ce dernier peut être produit à l'aide d'un électroaimant. L'utilisation des électroaimants comporte plusieurs avantages dont la possibilité d'ajuster l'intensité du champ magnétique en variant l'intensité du courant électrique. De plus, le champ magnétique produit par les électroaimants peut atteindre une intensité plus élevée que l'intensité d'un champ engendré par des aimants permanents. La grosseur et la masse volumique des particules ou morceaux qui devraient être séparés

influencent le traitement. La séparation des grosses particules denses requiert un champ magnétique plus intense que la séparation des petites particules légères. Il est essentiel de souligner que l'efficacité du procédé dépend du degré de libération ou de la pureté des matériaux à séparer [15].

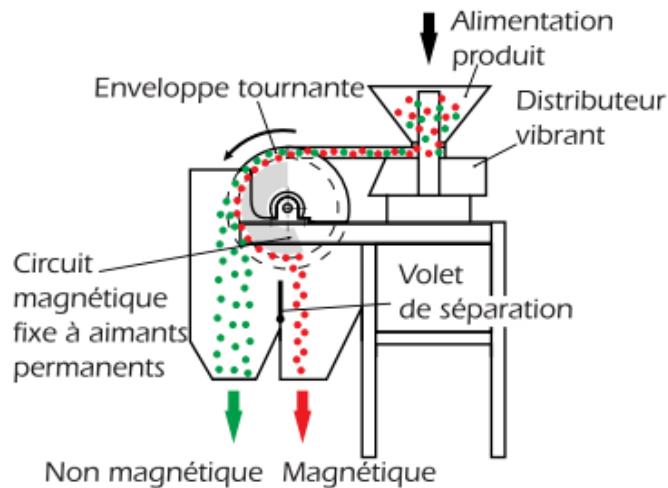


Figure II.7 : Schéma présentant le principe de la séparation magnétique

II.4.2. Protocole expérimental

Après une préparation mécanique comme présenté dans ce chapitre, les tranches granulométriques concernées par ce traitement sont les suivantes : $>1\text{mm}$ (grossière), $(0,5-1)\text{mm}$ (intermédiaire) et $<0,5\text{mm}$ (fine). Chacune des tranches sera testées respectivement aux paramètres choisies.

Une masse de l'échantillon pour les tranches cités ci-dessus sont préparés et introduits dans un séparateur magnétique à électroaimant à moyenne intensité de type laboratoire. Il comporte un rotor denté tournant entre les pièces polaires d'un circuit magnétique.

La séparation a lieu dans l'intervalle (entrefer) réglable situé entre les pièces polaires avant et le rotor formant un contre-pôle. L'alimentation est faite sur le rotor à l'aide d'un alimentateur vibrant horizontal, entre le rotor et la pièce polaire avant.

Des essais sont réalisés en se basant sur la variation de : la masse de l'alimentation, l'amplitude de alimentateur vibrant et la vitesse de rotor, et cela nous permet de savoir quel sont les paramètres les plus adéquate (paramètres optimaux) pour la réalisation d'une bonne séparation des minerais de fer.

Le séparateur est réglé à une intensité fixe, une masse varié de notre échantillon (500, 1000 et 1500g) sont alimentés au séparateur par un alimentateur vibrant horizontal, et cela pour chaque tranche cités ci-dessus (les trois tranches). Les éléments magnétiques passant dans le système sont attirés par la pièce polaire supérieure et évacués sur le côté, ensuite détachés par une brosse et les non magnétiques ne seront pas retenus par l'électroaimant.

Le procédé de séparation de ces essais, à eu lieu dans les mêmes conditions du premier essai, mais avec une vitesse variable puis la variation de l'amplitude.

Les essais de traitements sont effectués au sein de laboratoire des mine et géologie à l'université de Béjaia du marque VIBRA SCHULTHEIS et de type FRU 4,5/1-0-ER



Figure II.8 : Séparateur magnétique à basse intensité de type laboratoire

CHAPITRE III

CARACTERISATION MINERALOGIQUE ET PHYSICO- CHIMIQUES DES MINERAIS DE FER

Chapitre III : Caractérisations minéralogique et physico-chimiques des minerais de fer

III.1. Introduction

La caractérisation conventionnelle des minerais de fer repose généralement sur l'analyse de plusieurs paramètres chimiques et physiques. Pour sa part, la caractérisation par l'approche minéralurgique repose principalement sur la distribution des contaminants dans les différentes fractions granulométriques, sur l'identification de leur composition minéralogique (contaminants inorganiques) et l'évaluation de leur degré de libération [21].

Toutefois, la mesure des caractéristiques d'un matériau nécessite la présence d'un échantillon, le plus représentatif possible, d'un lot de matière dont il est issu en plus de sa forme permettant d'effectuer les analyses et les contrôles requis. L'échantillonnage au laboratoire s'effectue selon des opérations de réduction granulométrique, d'homogénéisation et de réduction de volume (quartage). Les différentes méthodes employées sont des techniques permettant :

- ❖ De définir les mailles optimales de libération des éléments fer et les minéraux de la gangue ;
- ❖ L'identification qualitative et quantitative des différentes phases minéralogiques présentes dans la matière première ;
- ❖ La composition chimique en éléments majeurs et en éléments traces.

Cette étude nous permettra de suivre l'évolution des caractéristiques chimiques, minéralogiques et thermiques des minerais de fer du gisement de Timezrit et Gueldaman.

La caractérisation physico-chimique des échantillons bruts, provenant du gisement de Fer (Timezrit et Gueldaman) a été réalisée par plusieurs méthodes d'analyses qualitative et quantitative, permettant de mieux définir les caractéristiques granulométriques, minéralogiques et chimiques.

III.2. Caractérisation dimensionnelle de minerai de fer brut :

En vue d'obtenir une meilleure représentativité, d'une part, et de réduire les dimensions des grains, d'autre part, le minerai tout-venant est soumis à un traitement mécanique qui consiste en des opérations d'homogénéisation, de concassage, de quartage et de tamisage. Le minerai tout-venant subit un concassage jusqu'à 4 mm, une homogénéisation et ensuite une série de quartage jusqu'à l'obtention d'un échantillon de base (0 - 4 mm). La durée de

tamissage est limitée à 15 minutes pour éviter les erreurs dues à l'effet de broyage (attrition) [22].

III.2.1. Classement dimensionnel par tamissage :

Le classement dimensionnel sert à déterminer la distribution pondérale des particules d'un matériau suivant leurs dimensions [22], il permet également d'étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, etc.). Le classement dimensionnel du minerai brut obtenu après traitement mécanique a été réalisé par tamissage en voie sèche (entre 80 μ m et 4 mm).

III.2.1.1. Matériels utilisés :

On procède au classement des grains à l'aide d'une série de tamis emboîtés les uns dans les autres. Les dimensions des mailles des tamis sont décroissantes du haut vers le bas. Le granulat est placé sur le tamis le plus haut et par vibrations, on répartit les grains sur les différents tamis selon leur grosseur.

On utilise des tamis à mailles carrées par leur ouverture ; la dimension nominale d'un tamis correspond à la longueur du côté de la maille (en mm) (Norme AFNOR NF X 11-501). La série des tamis utilisant sont : 4.0, 2.0, 1.6, 1.0, 0.90, 0.71, 0.50, 0.335, 0.20, 0.18, 0.08mm.

III.2.1.2. Calcul des modules des tamis :

Le module d'un tamis est un nombre caractéristique. La valeur du module est donnée par la relation :

$$\text{Module} = [10.\log (\text{ouverture en } \mu \text{ m})]+1$$

Les résultats de calcul de ces modules sont représentés dans le tableau III.1 suivant.

Tableau III.1 : Les modules des tamis (ouvertures des tamis en mm)

Tamis (mm)	0.08	0.18	0.20	0.335	0.50	0.71
Module	20	23	24	26	28	29
Tamis (mm)	0.90	1.0	1.6	2.0	4.0	-
Module	30	31	33	34	37	-

III.2.1.3. Analyse granulométrique

❖ La mine de Gueldaman

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage obtenus pour le minerai de fer ont montré l'existence de deux populations de grains de tailles respectivement dans les intervalles [1,6mm-2mm] et [2mm-4mm] et avec des rendements respectifs de 11,56 et 25,82. Cela signifie que la distribution des particules dans les tranches granulométriques est de manière irrégulière.

Toutefois, la tranche granulométriques non utilisées (<40 µm) a enregistré une proportion pondérale non négligeables de 37,89%.

Tableau III.2 : Les pourcentages des passants (tamisât) cumulés et des refus cumulés du minerai de fer de la mine Gueldaman

Tamis (mm)	Masse (g)	Rendement Pondéral (%)	Rendement cumulatif du tamisé (%)	Rendement cumulatif en refus (%)
> 4	378,54	37,89	37,89	62,11
4-2	257,90	25,82	63,71	36,29
2-1,6	115,50	11,56	75,27	24,73
1,6-1	45,63	04,57	79,83	20,17
1-0,9	16,13	01,61	81,45	18,55
0,9-0,71	39,31	03,93	85,38	14,62
0,71-0,5	22,48	02,25	87,63	12,37
0,5-0,335	25,39	02,54	90,18	09,82
0,335-0,20	30,87	03,09	93,27	06,73
0,20-0,18	05,30	00,53	93,80	06,20
0,18-0,08	30,30	03,03	96,83	03,17
< 0,08	31,66	03,17	100,00	00,00
Rendement du procédé de tamisage : 99,90%				

❖ Mines de Timezrit

L'analyse granulométrique de l'échantillon de minerai de fer de Timezrit présente des irrégularités de distribution avec deux tranches significatives à savoir la tranche supérieur à 4 mm et celle entre 2 et 4 mm.

Tableau III.3 : Les pourcentages des passants (tamisât) cumulés et des refus cumulés du minéral de fer de la mine Timezrit

Tamis	Masse (g)	Rendement Pondéral (%)	Rendement cumulatif du tamisé (%)	Rendement cumulatif en refus (%)
> 4	428,58	43,01	43,01	56,99
4-2	194,61	19,53	62,54	37,46
2-1,6	43,74	04,39	66,93	33,07
1,6-1	54,86	05,50	72,43	27,57
1-0,9	09,24	00,93	73,36	26,64
0,9-0,71	25,99	02,61	75,97	24,03
0,71-0,5	36,32	03,64	79,61	20,39
0,5-0,335	28,27	02,84	82,45	17,55
0,335-0,20	45,81	04,60	87,04	12,96
0,20-0,18	08,44	00,85	87,89	12,11
0,18-0,08	53,68	05,39	93,28	06,72
< 0,08	67,04	06,73	100,00	00,00
Rendement du procédé de tamisage : 99,66%				

III.2.1.4. Variation du rendement pondéral en fonction de la granulométrie :

❖ La mine de Gueldaman

La figure III.1 rapporte l'évolution du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques par tamisage. En effet, des quatre modes granulométriques observés, seul M4 est le plus prononcé.

- Le mode (M₄), concentré sur 4000µm, représente environ 37.89% en poids pondéral.

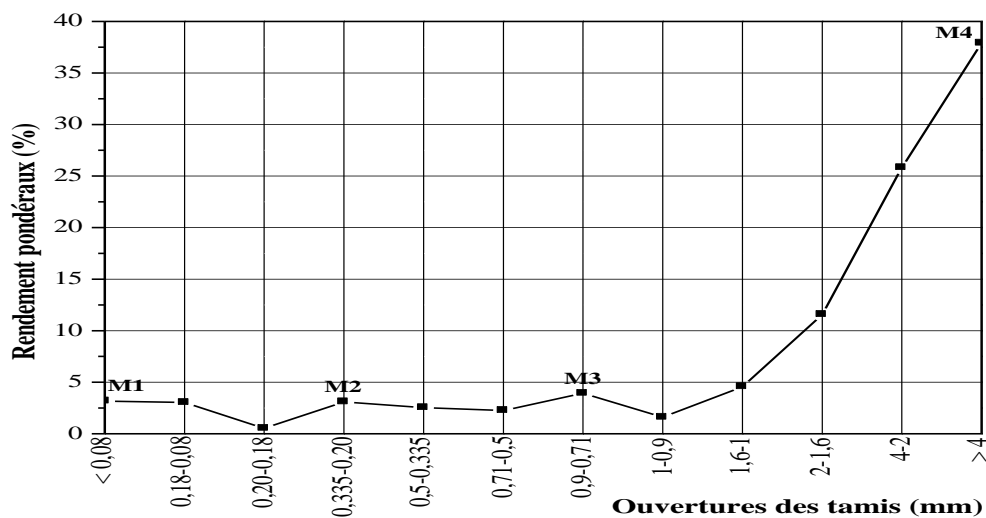


Figure III.1 : Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage du minéral de fer de la mine Gueldaman

❖ **La mine de Timezrit**

La figure III.2 rapporte l'évolution du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques par tamisage. En effet, des cinq modes granulométriques observés, seul M5 est le plus prononcé avec 43,01% du poids pondéral.

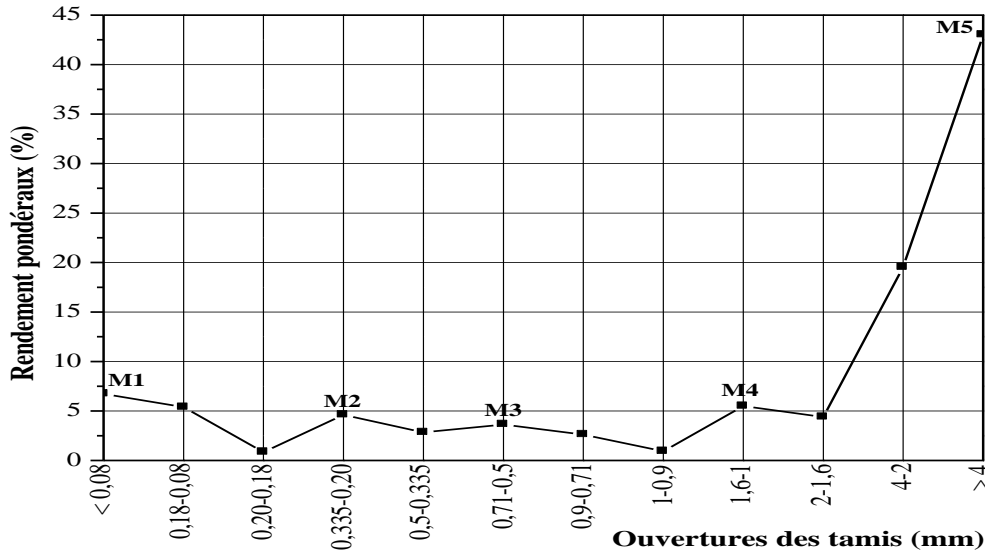


Figure III.2 : Variation du rendement pondéral en fonction des classes granulométriques obtenues par tamisage du minerai de fer de la mine Timezrit

III.2.1.5. Courbe granulométrique :

D'après les résultats obtenus pour les deux échantillons de minerai de Fer de Gueldaman et Timezrit, on constate que les rendements cumulatifs des tamisâts sont croissants en fonction des diamètres moyens des tamis. Par contre les rendements cumulatifs des refus sont décroissants en fonction des diamètres moyens des tamis. De plus, ces des deux courbes (refus-tamisât) sont symétriques et elles se coupent en un point : D₅₀. C'est le diamètre de la maille du tamis qui permet le passage de 50% du matériau au départ.

Les figures III.3 et Figure III.4 représentent les courbes granulométriques des échantillons de fer brut de la mine de Gueldaman et celle de Timezrit respectivement.

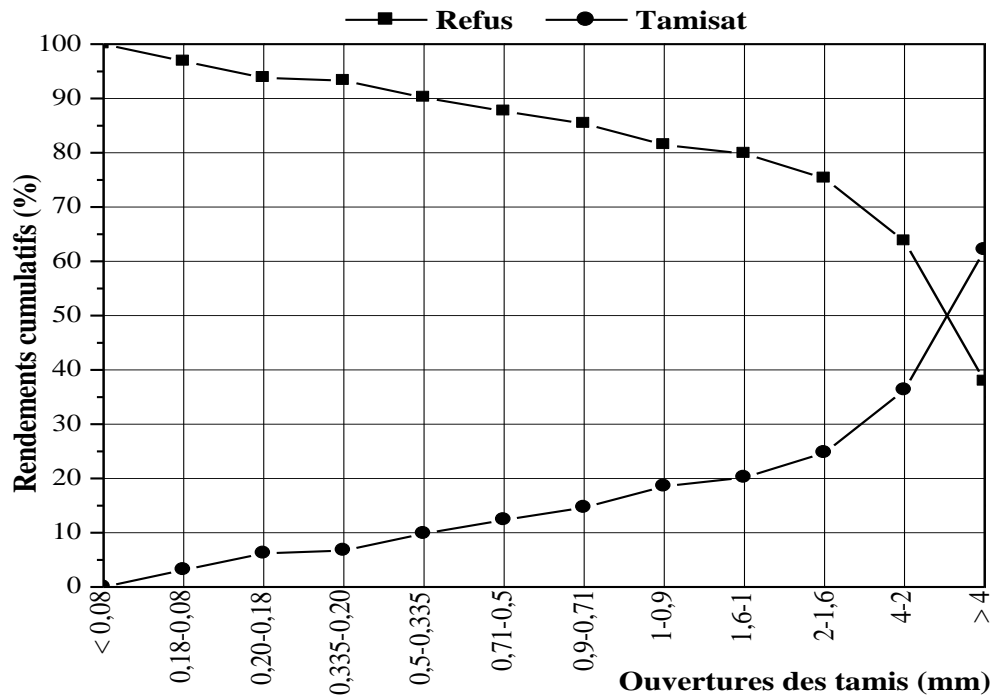


Figure III.3 : Granulométrie par tamisage du minerai de fer de la mine Gueldaman

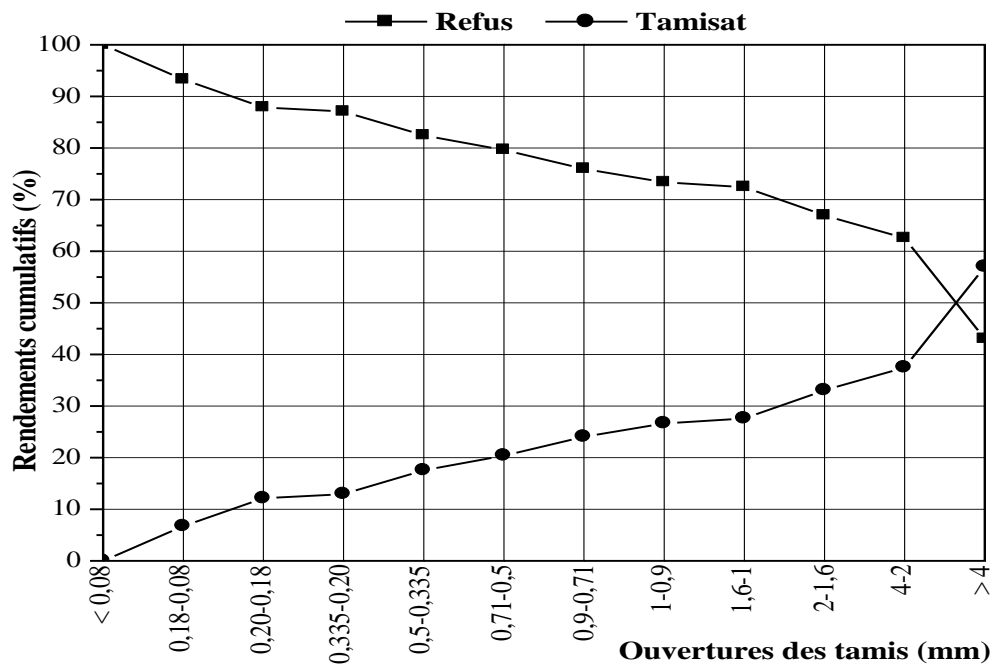


Figure III.4 : Granulométrie par tamisage du minerai de fer de la mine Timezrit

A partir de ces courbes on peut déterminer le diamètre D_{50} qui représente le diamètre de la maille des tamis qui permettent le passage de 50% du matériau de départ.

On obtient:

Pour l'échantillon de Gueldaman : $D_{50} = 3 \text{ mm}$

Pour l'échantillon de Timezrit: $D_{50} = 3,2 \text{ mm}$

III.3. La composition chimique

III.3.1. Analyse chimique par la fluorescence X

Les analyses chimiques par spectrométrie de fluorescence à rayons X « ZSX Primus II de RIGAKU » sont réalisées au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico-chimiques (CRAPC), Tipaza. Les caractéristiques de l'équipement sont : Analyse des éléments de Béryllium (Be) à Uranium (U) ; Micro-analyse pour analyser des échantillons aussi petits que 500 μm ; Fonctionnalité de cartographie pour la topographie élémentaire/distribution ; Tube de 30 μ offre des performances d'éclairage supérieures. La répartition des teneurs chimiques en éléments majeurs et mineurs des minerais de fer de Gueldaman et de Timezrit est rapportée dans les tableaux III.4 et III.5.

Tableau III.4 : Résultats des analyses chimique du minerai de fer de la mine Gueldaman

No	Élément	Masse (%)	Oxyde	Masse (%)
1	Fe	38,542	Fe ₂ O ₃	28,033
2	Ca	20,857	CaO	8,260
3	Mg	5,962	MgO	4,922
4	Ba	3,540	BaO	4,379
5	Al	1,834	Al ₂ O ₃	11,579
6	Ti	2,244	TiO ₂	7,674
7	S	0,930	SO ₃	7,674
8	Si	0,736	SiO ₂	7,336
9	Mn	0,847	MnO ₂	3,776
10	V	0,518	V ₂ O ₅	10,989
11	Autres	0,911	Autres	0,204
12	P.F	23,079	P.F	5,172

Tableau III.5 : Résultats des analyses chimiques du minerai de fer de la mine Timezrit

No	Élément	Masse (%)	Oxyde	Masse (%)
1	Fe	65,486	Fe ₂ O ₃	43,659
2	Si	5,740	SiO ₂	9,206
3	Al	3,917	Al ₂ O ₃	13,620
4	Ca	2,733	CaO	4,570
5	Mn	2,041	MnO	4,401
6	P	0,535	P ₂ O ₅	19,776
7	Autres	0,928	Autres	0,226
8	P.F	18,620	P.F	4,542

III.3.2. Analyse minéralogique par la diffraction des rayons X

L'identification des phases minérales a été réalisée par diffraction des rayons X, à l'aide d'un diffractomètre de poudre de marque X'pert prof analytical type MPD /système vertical θ/θ PDS 4 pass x Accelerator (detector) plateforme (BRACKET) (sample-stage). L'étude minéralogique a été appliquée pour les deux échantillons de minerais de fer de Gueldaman et Timezrit. Cette étude a montré des résultats consolidateurs de l'évidence sur l'existence des principaux minéraux recherchés, à savoir : Hématite en tant que minéral principal ; le Goethite, en grande quantité, associés à d'autres minerais tout aussi bien exprimés minéralogiquement quoique peu abondantes, tels que : la calcite, le quartz et la dolomite. Les figures III.5 et III.6 illustrent le diffractogramme du résultat de l'analyse minéralogique de l'échantillon de minerai de fer étudié.

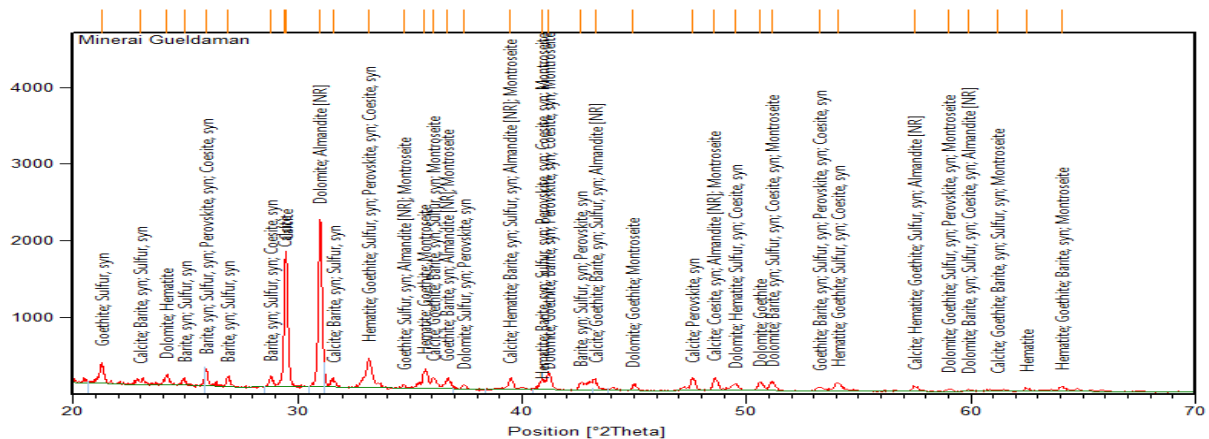


Figure III.5: Diffractogramme des rayons X du minerai de fer de Gueldaman

Tableau III.6 : Identification des codes STM (Gueldaman)

Code de la fiche STM	Nom chimique	Formule chimique
01-083-0578	Calcite	CaCO ₃
00-036-0426	Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂
01-087-1164	Hématite	Fe ₂ O ₃
00-029-0713	Goethite	FeHO ₂
01-080-0512	Barite	Ba(SO ₄)
00-008-0247	Brimstone	S
00-042-0423	Pérovskite	CaTiO ₃
01-079-0446	Coésite	SiO ₂
00-003-0845	Almandin	Fe ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃
01-073-0513	Montroseite	VO(OH)

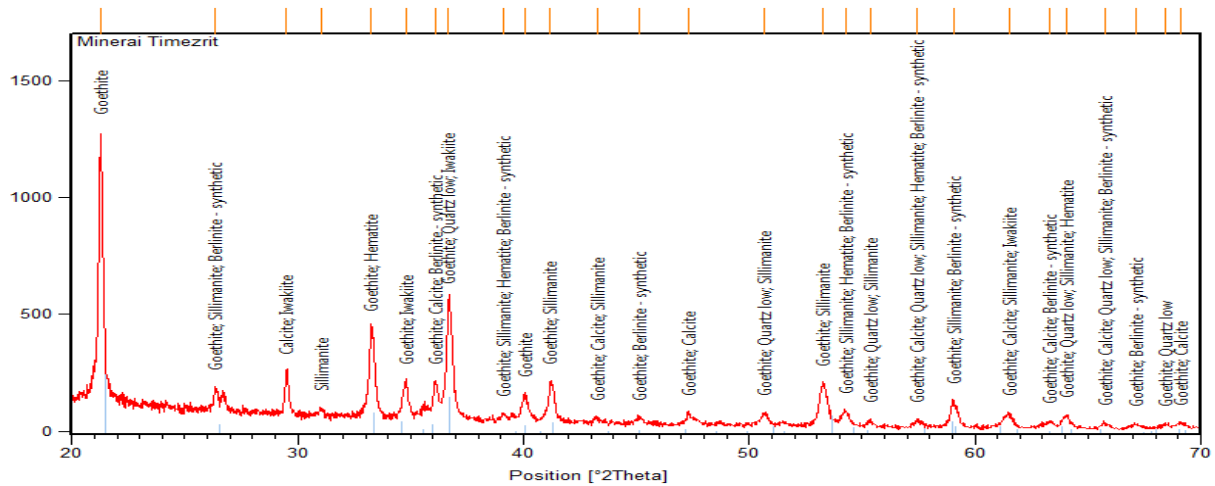


Figure III.6 : Diffractogramme des rayons X du minerai de fer de Timezrit

Tableau III.7 : Identification des codes STM (Timezrit)

Code de la fiche STM	Nom chimique	Formule chimique
00-029-0713	Goethite	FeHO ₂
01-072-1651	Calcite	CaCO ₃
01-086-1628	Quartz	SiO ₂
01-075-1576	Sillimanite	Al ₂ O(SiO ₄)
01-079-0007	Hématite	Fe ₂ O ₃
00-038-0430	Iwakiite	MnFe ₂ O ₄
01-087-0084	Berlinite	AlPO ₄

III.3.3. Analyse par spectrométrie infrarouge (FTIR) :

❖ Analyse par infrarouge (IR)

L'analyse par spectrophotométrie infrarouge, effectuée sur des pastilles d'échantillons dans KBr. Les essais d'absorption ont été effectués sur les échantillons de minerais de fer de Gueldaman et Timezrit, préalablement broyés (< 100 μ m). Les résultats représentés par les figures III.7 et III.8 des deux échantillons étudiés ont mis en évidence plusieurs bandes principales attribuées aux éléments Fe₂O₃, SiO₂, CaCO₃ et d'autres.

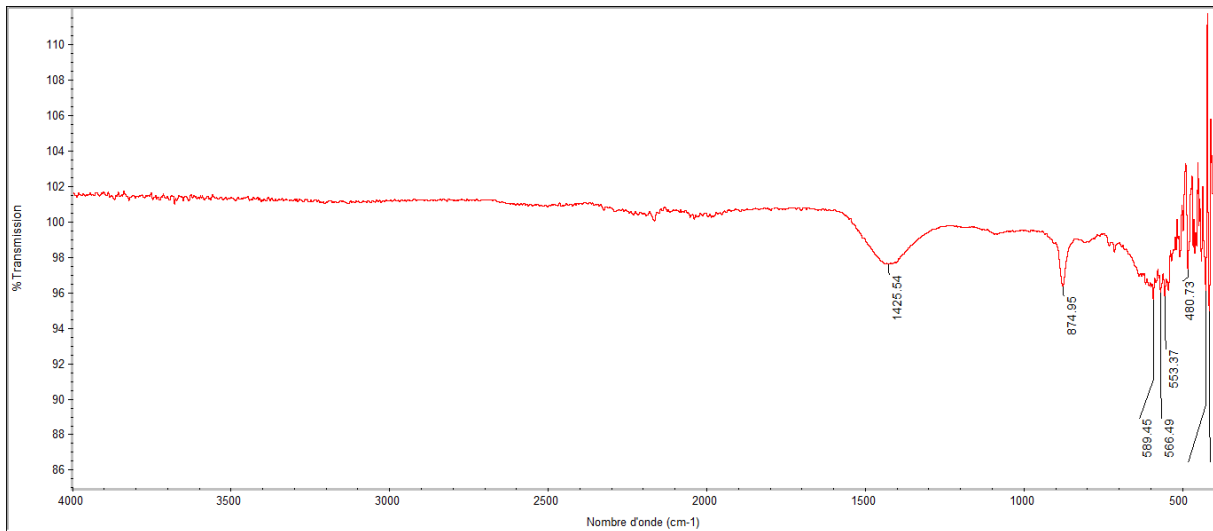


Figure III.7 : Spectre infrarouge du minerai de fer de Gueldaman

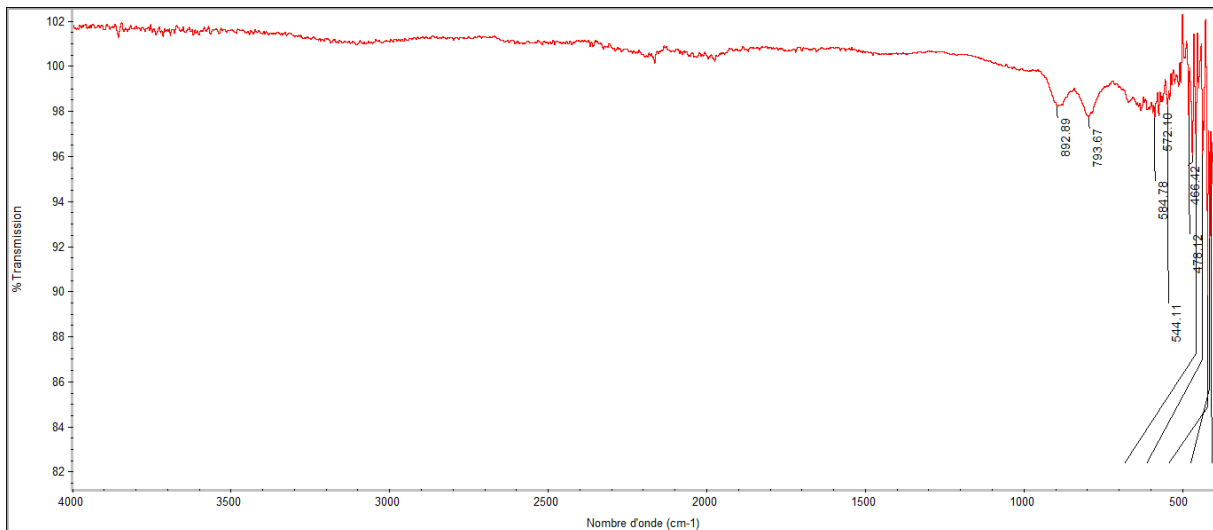


Figure III.8 : Spectre infrarouge du minerai de fer de Timezrit

III.4. Séparation des minéraux

III.4.1. Optimisation des principaux paramètres de la séparation magnétique du minerai de fer de Gueldaman :

1. Influence de l'amplitude sur le rendement de séparation

Le tableau III.8 représente les résultats des masses récupérées dans la séparation magnétique du minerai de fer de la mine Gueldaman à savoir : les concentrés en fer et les rejets (non magnétique) ainsi que les rendements massique du procédé de séparation, et ce

pour chaque vitesse du rotor et avec de différents amplitudes. La meilleure amplitude enregistrée est 30 avec une vitesse optimale enregistrée à 10tr/min.

Tableau III.8 : Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec m=500g

Vitesse (tr/min)	A (%)	Temps (min :s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
10	30	26,50	234,3	258,9	47,51
	32,5	22,32	226,6	262,3	46,35
	35	13,42	224,2	271,8	45,20
20	30	21,63	272,9	220,6	55,30
	32,5	22,40	246,8	250,2	49,66
	35	13,18	197,2	292,9	40,24
30	30	20,63	273,23	226	54,73
	32,5	18,20	252,5	237,6	51,52
	35	09,28	208,2	277,7	42,85

2. Influence de la vitesse sur le rendement de séparation

Les résultats de la séparation magnétique du minerai de fer de la mine Gueldaman sont illustrés dans le tableau III.9, ce dernier montre les masses des concentrés en fer et des rejets non magnétiques ainsi que les rendements du procédé de séparation. Les rendements sont déterminés avec des vitesses variées de 10 à 30tr/min et avec d'autres paramètres sont fixés à m=500g et A=30. La meilleure vitesse du rotor enregistrée est 30tr/min avec un rendement de séparation de 54,73%.

Tableau III.9 : Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres m=500g et A=30

Vitesse (tr/min)	Temps (s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
10	26,5	234,3	258,9	47,51
20	21,63	272,9	220,6	55,30
30	20,63	273,2	226,0	54,73

3. Influence de la masse sur le rendement de séparation

La variation de la masse de l'alimentation en fonction du rendement de séparation, pour le traitement du minerai de fer de la mine de Gueldaman par le procédé de séparation magnétique, les masses des concentrés en fer et les rejets non magnétiques sont représentés

dans le tableau III.10. Les résultats montrent que le rendement de séparation augmente avec l'augmentation de la masse de l'alimentation jusqu'à atteint la valeur 54,89% avec une masse de 1500g.

Tableau III.10 : Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres V=30tr/min et A=30

Masse (g)	Temps (s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
500	23,82	169,7	300,9	36,06
1000	37,33	537,2	453,6	54,22
1500	44,00	816,0	670,6	54,89

4. Influence de la granulométrie sur le rendement de séparation

Les résultats de l'influence de la granulométrie sur le rendement de séparation du procédé de séparation magnétique du minerai de fer de la mine de Gueldaman sont rapportés dans le tableau III.11, ce dernier représente les masses des concentrés en fer et des rejets non magnétiques ainsi que les rendements du procédé de séparation. La meilleure fraction qui représente un rendement élevé est celle F1.

Tableau III.11 : Résultats des rendements de séparation avec les paramètres V=30 tr/min, A=30 et m=500g

Fraction	Temps (s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
F1	20,63	273,23	226,0	54,73
F2	02,75	4,2	492,3	0,85
F3	01,96	0,8	498,3	0,16

III.4.2. Optimisation des principaux paramètres de la séparation magnétique du minerai de fer de Timezrit :

1. Influence de l'amplitude sur le rendement de séparation

Le tableau III.12, représente les résultats des masses récupérées dans la séparation magnétique du minerai de fer de la mine Timezrit à savoir : les concentrés en fer et les rejets (non magnétique) ainsi que les rendements massique du procédé de séparation, et ce pour chaque vitesse du rotor et avec de déferents amplitudes. La meilleure amplitude enregistrée est 40 avec une vitesse optimale enregistrée à 30tr/min.

Tableau III.12 : Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres
m=500g

Vitesse (tr/min)	A (%)	Temps (min :s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
10	30	27,02	108,8	362,4	23,09
	35	10,65	172,8	323,2	34,84
	40	04,92	200	300	40,00
20	30	25,65	94,8	356,7	21,00
	35	11,80	166,1	280,8	37,17
	40	03,25	186,6	304,2	38,02
30	30	24,03	167,3	330,6	33,60
	35	11,20	174,5	307,2	36,23
	40	02,10	239,8	237,8	50,21

2. Influence de la vitesse sur le rendement de séparation

Les résultats de la séparation magnétique du minerai de fer de la mine Timezrit sont illustrés dans le tableau III.13, ce dernier montre les masses des concentrés en fer et des rejets non magnétiques ainsi que les rendements du procédé de séparation. Les rendements sont déterminés avec des vitesses variées de 10 à 30tr/min et avec d'autres paramètres sont fixés à m=500g et A=40. La meilleure vitesse du rotor enregistrée est 30tr/min avec un rendement de séparation de 50,21%.

Tableau III.13 : Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres
m=500g et A=40

Vitesse (tr/min)	Temps (s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
10	04,92	200	300	40,00
20	03,25	186,6	304,2	38,02
30	02,10	239,8	237,8	50,21

3. Influence de la masse sur le rendement de séparation

La variation de la masse de l'alimentation en fonction du rendement de séparation, pour le traitement du minerai de fer de la mine de Timezrit par le procédé de séparation magnétique, les masses des concentrés en fer et les rejets non magnétiques sont représentés dans le tableau III.14. Les résultats montrent que le rendement de séparation augmente avec

l'augmentation de la masse de l'alimentation jusqu'à atteint la valeur 53,33% avec une masse de 1500g.

Tableau III.14 : Résultats des rendements de séparation de la fraction F1 avec les paramètres V=30tr/min et A=40

Masse (g)	Temps (s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
500	02,10	239,8	237,8	50,21
1000	03,87	452,8	508,1	47,12
1500	03,75	785,6	687,5	53,33

4. Influence de la granulométrie sur le rendement de séparation

Les résultats de l'influence de la granulométrie sur le rendement de séparation du procédé de séparation magnétique du minerai de fer de la mine de Timezrit sont rapportés dans le tableau III.15, ce dernier représente les masses des concentrés en fer et des rejets non magnétiques ainsi que les rendements du procédé de séparation. La meilleure fraction qui représente un rendement élevé est celle F1.

Tableau III.15 : Résultats des rendements de séparation avec les paramètres V=30 tr/min, A=35 et m=500g

Fraction	Temps (s)	Concentré (g)	Rejet (g)	Rendement (%)
F1	11,20	174,5	307,2	36,23
F2	10,12	5,3	491,5	1,07
F3	06,50	2,2	492,0	0,45

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Au cours de cette étude consacrée à la caractérisation et au traitement par le procédé de séparation magnétique des minerais de fer issu d'exploitation des mines Gueldaman et Timezrit, les résultats de caractérisation minéralogique et physico-chimiques des minerais de fer ainsi l'optimisation des principaux paramètres du procédé séparation magnétique des deux minerais de fer étudiés nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

L'analyse granulométrique par tamisage montre que la majorité des grains des minerais de fer appartient à la tranche granulométrique supérieure à 4 mm pour les deux minerais de fer étudiés, on remarque aussi la présence de quatre populations pour le minerai de fer de Gueldaman et cinq populations pour le minerai de fer de Timezrit.

La composition chimique des deux minerais de fer étudiés montrent que les taux de fer est important pour les deux minerais ainsi que les taux des éléments calcium et magnésium sont important dans le minerai de fer de Gueldaman et sont faible dans le minerai de Timezrit, ce dernier présente des taux de silicium et de l'aluminium très important par rapport au minerai de fer de Gueldaman. D'autres éléments sont aussi présents avec des taux relativement faible pour les deux minerais de fer, comme Phosphore (P), Manganèse (Mn) et Vanadium (V).

L'analyse par la diffraction des rayons X a montré que les deux minerais de fer sont constitués majoritairement de l'hématite et la goethite avec la présence d'autres phases minéralogiques en quantité faible à savoir : la calcite, le quartz et la dolomite.

L'analyse par spectroscopie FTIR montre la présence des vibrations de valence des OH associés aux éléments divalent des sites tri, octaédriques tel que Fe^{2+} , Mg^{2+} ...et une bande correspond simultanément aux vibrations d'élongation du groupement OH. Un pic correspond aux liaisons de fer, Fe_3O^+ et Fe_2O^+ . Un pic des carbonates et une bande attribuée à la calcite $CaCO_3$. Un pic correspondant aux vibrations de valence des liaisons Si-O. Une bande attribuée aux vibrations de déformation de la liaison Al-OH. Un pic correspond aux vibrations de déformation du groupement hydroxyle Mg-Al-OH, et une bande caractérise les vibrations de déformation des OH des groupements Mg-Fe-OH.

Les résultats de l'optimisation des principaux paramètres du procédé de séparation magnétique des minerais de fer de Gueldaman et Timezrit, montre les points suivants :

- ❖ La meilleure tranche granulométrique qui est enregistré un rendement élevé pour les deux minerais étudiés est celle inférieure à 0,5mm.
- ❖ La masse de l'alimentation optimale qui donne un meilleure rendement de séparation des deux type de minerais est $m=500g$.
- ❖ Les meilleurs rendements de séparation magnétique des deux minerais sont enregistrés avec la vitesse de rotor de 30tr/min.
- ❖ Les valeurs optimales de l'amplitude enregistrés pour les meilleurs rendements de séparation magnétique des deux minerais étudié sont 30 et 40 pour les minerais Gueldaman et Timezrit, respectivement.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques

- [1] <https://www.monde-diplomatique.fr/1965/10/A/26894>
- [2] Rout, M., et Parida, C. K. (2007). Optimization of blasting parameters in opencast mines. Thèse de Doctorat, 79 p.
- [3] **Aurélié Chamaret.** Une démarche Top-Down / Bottom-Up pour l'évaluation en termes multicritères et multi-acteurs des projets miniers dans l'optique du développement durable Application sur les mines d'Uranium d'Arlit (Niger). These de doctorat de l'universite de Versailles Saint-Quentin-en Yvelines
- [4] Artignan, D. and F. Cottard (2003). Eléments à prendre en compte pour l'évaluation des impacts environnementaux dans l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), BRGM - Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Economie. Orléans: 46.
- [5] Eberlé, J.-M., P. Gentilhomme and A. Coumoul (2006b). "Tableau de bord des cours et tendances pour le mois d'octobre 2006." Ecomine(Octobre): 4.
- [6] Gouin, J. (2008). Mode de genèse et valorisation des minerais de type black shales: cas du Kupferschiefer (Pologne) et des schistes noirs de Talvivaara (Finlande). Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, 358 p. [7] (Afanga, K., 2014).
- [8] Dumont, M. (2008). Minerai de fer. Annuaire des minéraux du canada, 11 p
- [9] Duport, O. (2012). Minerai de fer, l'émergence d'une nouvelle commodité sur les marchés financiers. Thèse de Doctorat. Haute école de gestion de Genève, 57 p.
- [10] Ministère de l'industrie et des mines. Direction générale des mines. (2015). Potentiel minéral de l'Algérie, (Algérie), pp. 19.
- [11] **IDRES A et al. 2005.** Possibilité d'une nouvelle technologie de traitement des minerais de fer de l'Ouenza par radiométrie, Journal de Physique, éd. EDP sciences, France.
- [12] Cornell, R.M. and Schwertmann, U, 1996. The Iron Oxides. WILEY-VCH, Weinheim, 664 pp.

- [13] **BUBENICEK L** et al. **2017**. « FER - Minerais de fer », Encyclopédie Universalise.
- [14] <https://www.delcampe.net>
- [15] **MOUSSACEB. K.** Optimisation du système de gestion de l'homogénéisation du cru et du processus technologique de fabrication du ciment dans le système carrière usine de fabrication, application aux cimenteries Algériennes, laboratoire de technologie des matériaux et de génie de procédés. Thèse Doctorat, université de Bejaia, (2007).
- [16] **CETIM** : (centre d'études et des services technologiques de l'industrie des matériaux de construction) «Rapport géologique de gisement de tuf Remila», (2003).
- [17] **JJ. Rousseau, A. Gibaud** ; « *cristallographie géométrique et radiocristallographie* » Dunod, Paris, **2007**.
- [18] **Francis Rouessac. Annick Rouessac** ; « analyse chimique : méthodes et techniques instrumentales modernes » Dunod, Paris, (**2004**).
- [19] **Kaniki TSHAMALA**, «Caractérisation environnementale des rejets minierométallurgiques du copperbelt congolais», thèse de doctorat, (2008).
- [20] **MEHASNI Rabia**, «Elaboration de modèles de calcul de dispositifs à induction électromagnétique : application a un système de séparation magnétique dans les milieux particuliers». Thèse de doctorat, université de Constantine, (2007).
- [21] **Gilles BARBERY**, Séparation par flottation (Mécanismes et réactifs), Bureau de recherches Géologiques et Minières (BRGM), Technique de l'ingénieur A 5 350 (p. 1-16), France.
- [22] **N. BEZZI**, Gestion de la qualité et valorisation des minerais de phosphate de Bled el Hadba, Djebel Onk (Tébessa), Thèse doctorat, Université FERHAT ABBAS-Sétif, 2005.