



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines

Option : **Valorisation des Ressources Minérales**

Présenté par

ADJISSA MASSINISSA

Thème

Analyse et caractérisation de minerai de fer de Gara Djebilet ouest (Tindouf _ Algérie).

Soutenu le 18 / 09 /2019 devant le jury composé de:

Président:	Mr	.MEGHRFI	.K	U.A.M.B
Promoteur:	Mme	.Malek	.N	U.A.M.B
Co-Promoteur :	Mr	.AYADEN	.B	U.A.M.B
Examineur:	Mr	.DJEZAIRI	.O	U.A.M.B

Année Universitaire: 2018-2019

Dédicace

Je dédie ce Modest travaille a :

A moi même .

A toutes les personnes qui mon encouragés a suivre les études .

A toutes ma familles et mes parents .

A touts la familles universitaires mes profs et enseignants .

A tous mes chères amis mes collègues et mes camarades .

Massi

REMERCIEMENT

Remerciement

En préambule à ce mémoire de fin d'étude, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier sincèrement Madame **MALEK Noura** en tant que promotrice de mémoire et Monsieur **AYADEN Brahim**, comme co-promoteur qui, , s'est toujours montrée à l'écoute.

J'exprime aussi ma profonde considération à Messieurs les membres du jury : Monsieur **DJEZAIRI Omar** l'examineur de mon travail et le président de ma soutenance monsieur **MOGHORFI Karim** pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et m'avoir fait l'honneur de l'examiner.

Je tiens témoigner de mon plus profond merci a monsieur **AIT MERZEGUE Farid** de m'avoir aidé et grâce a lui mes analyse ont été effectuée.
Ma gratitude à toutes les personnes qui nous ont apporté leurs soutiens, nous citerons en particulier les responsables et ingénieurs des organismes suivants :

- **Centre de recherche CRAPC Tipaza**
- **Laboratoire LTMGP de l'Université de Bejaia**
- **La halle de technologie de l'Université de Bejaia**

Je tiens a remercier Madame **BOUZIDI Nedjima** ,pour les efforts et le courage qui elle ma donné pour réalisé ce projet .

Mes remerciements s'adressent également aux laboratoires de Génie des procédés , plus particulièrement à Madame **AYAD Habiba** , la Responsable De laboratoire le lieux de la préparation et de la manipulation

Je remercie également Monsieur **BOUKRAM**, le Responsable et le vise chef de département des mines et Géologie, pour sa disponibilité et son aide tout au long de ce processus.

Je remercie Monsieur **MOUSSACEB** pour sont contribution, sont soutien et sa patience.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Ce mémoire n'aura jamais vu le jour sans sa patience et les discussions que nous avons eues et qui m'ont permis de progresser dans mon travail.

Merci à tous et à toutes

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE 01

CHAPITRE I :GENERALITES SUR LE GISEMENT DE FER

DE GARA DJEBILET 03

I.1.Introduction..... 03

I.2.Situation géographique 03

I.3. cadre géologique 04

I.3.1.la Géologie de la région de gara Djebilet..... 04

I.3.1.1.Au plan structural..... 04

I.3.1.1.1.En dykes 05

I.3.1.1.2.En sills 05

I.3.1.1.3.En massifs intrusifs 05

I.3.1.2. Au plan stratigraphique..... 06

I.3.1.2.1 .Silurien 06

I.3.1.2.2. Le Dévonien 06

.a. Le Dévonien inférieur..... 06

.b. Le Dévonien moyen 06

.c. Le Dévonien supérieur 06

I.3.1.3. Le Carbonifère 07

I.3.1.3.1.Le Carbonifère marin 07

I.3.1.3.2Carbonifère continentale 07

I.3.1.4.découpage séquentielle 08

I.3.1.4.1. Les discontinuités..... 08

.a. Discontinuités majeures..... 08

.b. Discontinuités mineures 08

• Discontinuité d1 08

• Discontinuité d2 09

.I.3.1.4.2. Découpage séquentiel 09

.a. Mésoséquence (S1)..... 09

.b. Mésoséquence (S2) 09

SOMMAIRE

I.3.1.4.3. Milieux de dépôts.....	10
I.3.2 . La géologie de gisement de Gara Djebilet	10
I.3.2.1. les couches de minerai du gisement.....	11
I.3.2.2.Caractéristiques physico-chimiques de minerai.....	12
I.3.2.3. Minéralogie de minerai.....	12
I.4.les travaux réalisés sur le gisement de Gara Djebilet	13
I.4.1.Travaux de valorisation du minerai de fer de Gara Djebilet	13
I.4.2.Principaux résultats obtenus	13
I.4.2.1. Enrichissement du minerai	13
I.4.2.2. Agglomération et pelletisation.....	14
I.4.2.2.1. Elaboration de l'acier	14
I.5.Etude sur le transport du minerai de fer de Gara Djebilet	15
I.6. Valorisation des gisements de Gara Djebilet	16
I.7. Conclusion	16

CHAPITRE II :GENERALITE SUR LE MINERAI DE FER

II.1.Introduction	17
II.2. Propriétés du minerai de Fer.....	18
II.2.1. Propriétés physiques	18
II.2.2 les propriétés chimiques	19
II.2.3.Les alliages	19
II.3. la production mondiale de minerai de fer entre (2004-2015).	20
II .4. le marché mondiale de fer et de l'acier.....	21
II.5.La métallurgie de fer	22
II.5.1.définitions	22
II.5.1.1. le fer	22
II.5.1.2.La Fonte.....	22
II.5.1.3 l'acier	22
II.5.1.4.Les grandes familles	23
II.5.2 les étapes de la fabrication de l'acier.....	24
II.5.2.1.Le passage des matières premières à l'acier liquide	24

SOMMAIRE

.A. Par filière fonte	24
B.par la filière électrique	25
II.5.2.2.Le passage de l'acier liquide aux demi-produits	26
II.5.2.3. Le passage des demi-produits aux produits finis.....	26
.A. Le laminage a chaude	27
.B. Le laminage a froid	27
.C. Le revêtement	27
II.6.Conclusion	28

CHAPITRE III: CARACTERISATION ET ESSAI D'ENRICHISSEMENT

.....	29
III.1.INTRODUCTION	29
III.2. Echantillonnage.....	29
III.3.Préparation mécanique... ..	29
III.3.1 Concassage	29
III.3.2. Séchage.....	30
III.3.3.Homogénéisation et le quartage	30
III.3.4.Analyse granulométrique.....	31
III.3.4.2. Facteurs caractéristiques	32
III.3.5. Broyage.....	32
III.4. Méthodes de caractérisations.....	33
III.4.1. Analyse minéralogiques (DRX).....	33
III.4.1.1. Définition.....	33
III.4.1.2.Principe de l'analyse	33
III.4.2.Analyse chimique (fluorescence des rayons X)	34
III.4.2.1. Définition.....	34
III.4.2.2. Principe de fonctionnement.....	34
III.4.3 Analyses ATD /ATG	35
III.4.3.1. Définition.....	35
III.4.3.2. Principe de fonctionnement	36
III.5. Enrichissement du minerai de G-Dj	36
III.5.1. Séparation magnétiques	36
III.5.1.1. Principe de base.....	37

SOMMAIRE

III.5.1.4. Essais de séparation magnétique.....	37
III.5.2. Grillage.....	39
III.5.2.1.Définitio	39
III.6. Préparation des échantillons.....	40
III.6.1.Charbon naturel (Coke)	40
III.6.2.Préparation de mélange (Minerai +Coke).	41
III.6.3.Grillage magnétisant.....	41
III.7. Conclusion.....	41
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DESCUTIONS.....	42
IV.1. Introduction.....	42
IV.2Résultats d'étude de caractérisation.	42
IV.2.1. l'analyse granulométrique.....	42
IV.2.2 Caractérisation minéralogique par (DRX).	43
IV.2.3. Caractérisation chimique par (FX).....	47
IV. 3. Résultats de la séparation magnétique	47
IV.3.1. Résultats de la séparation magnétique (échantillons bruts)	47
IV.3.2. le traitement thermique par grillage magnétisant.....	48
IV.3.3. la séparation magnétique après le grillage magnétisant.....	49
IV.4. Conclusion	51
IV. CONCLUSION GENERALE.....	52
ANNEXES	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	67

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Figure N°01 : Situation géographique du gisement de fer de Gara Djebilet	04
Figure N°02 : Carte structurale de la zone étudiée	05
Figure N°03 : le carbonifère de Gara Djebilet	08
Figure N°04 : interprétation séquentielle de la formation d'Oued Talha et gara Djebilet	09
Figure N°05 : les trois lentilles de minerai de fer de Gara Djebilet	10
Figure N°06 : le prix de minerais de fer selon le marché mondiale 2017/2018.....	21
Figure N°07 :Les opérations nécessaires pour passer du minerai de fer à la fonte ou à l'acier.....	24
Figure N°08 :haut fourneau	25
Figure N°09 :aciéries électrique.....	26
Figure N°10 :les principaux étapes d'élaboration d'un acier liquide.....	26
Figure N°11 :Laminoirs pour produire des poutrelles en acier.....	27
Figure N° 12 :image pour une bobine de laminage a froid	27
Figure N°13 : les étapes d'obtention d'un produit finis	29
Figure N°14 : Concasseur à mâchoire type de laboratoire	31
Figure N°15 : Etapes de la réalisation de quartage.	32
Figure N°16 : Tamiseuse de laboratoire.....	33
Figure N°17 : Principe de l'analyse par DRX	35
Figure N°18 : Principe de base de l'analyse par FX	36
Figure N°19 : Schéma du principe de fonctionnement de l'appareil de ATG.....	37
Figure N°20 : Séparateur magnétique de type de laboratoire	38

LISTE DES FIGURES

Figure N°21 : Principe de base d'un séparateur magnétique a tombeur	38
Figure N° 22 Les réactions de réduction des oxydes de fer	40
Figure N° 23 : Four utilisé pour le grillage magnétisant.....	41
Figure N° 24 : Charbon naturel(coke) utilisé.....	41
Figure N° 25 : Exemple de courbe granulométrique de l'échantillon SP1/D3	45
Figure N° 26 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP1/D2 brut	46
Figure N° 27 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP1/D3	46
Figure N° 28 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP2/D2	47
Figure N° 29 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP2/D3.....	47
Figure N° 30 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP3/D2.....	47
Figure N°31 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP4/D2	48
Figure N°32 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP5/D2	48
Figure N°33 : Rendement de la fraction magnétique (FM) par échantillon	50
Figure N°34 : Rendement massique de la fraction magnétique en fonction de la T° de grillage	52

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Tableau N°01: La lithostratigraphie du bassin de Tindouf	07
Tableau N° 02 : composition chimique de minerai de fer de Gara Djebilet.....	12
Tableau N° 03 : Caractéristiques du Minerai fer	19
Tableau N° 04 : les principaux pays producteurs de minerai de fer	20
Tableau N° 05 : Identification des échantillons de minerai de fer de GD Ouest.....	29
Tableau N° 06 : Exemple de Résultat de la distribution granulométrique (SP1/D3)	42
Tableau N° 07 : Résultats d'analyse chimiques des échantillons bruts du minerai Gara Djebilet	47
Tableau N°08 : Résultats de la séparation magnétique pour les échantillons bruts.....	48
Tableau N°09 : Résultats de séparation magnétique après le grillage magnétisant.....	49

LISTE DES ABRIVIATION

LISTE DES ABREVIATIONS

FERAAL : Société Nationale de Fer et de l'Acier .

SONATRACH : Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures.

MANAL :Groupe Minières Algérienne.

SIDER : Groupe industriel algérienne du secteur de la sidérurgie .

BIA : Bureau d'organisation des ensemble industriels Africains .

BRMA :Bureau de Recherche Minière Algérien.

SERMI : Société d'Etudes et de Réalisation Minières et Industrielles.

IRSID : Institut de Recherche de la Sidérurgie .Française .

SONAREM :Société Nationale de Recherche et d'Exploitation Minières .

ORGM : Office Nationale de Recherche Géologique et Minière .

SNS : Société Nationale de la Sidérurgie .

CITIC :GroupChina International Trust and Investment Corporation .

POSCO : Pohang Iron and Steel Company .

KECI : entité *KECI ALBAN* effectue des activités récréatives et de loisirs .

LKAB :Luossavaara-KiirunavaaraAktiebolag .

HF : Hauts Fourneaux .

RD : réduction Directe .

BOF :(Basic oxygenfurnace)Four à oxygène de base .

BOS :(Basicoxygensteelmaking) Fabrication d'acier à base d'oxygène .

EAF :(Electric arc furnace) Four à arc électrique .

GE/TEMPO :(Edison General Electric Company)

NSC : (Consulting& d'Ingénierie en Hautes Technologies).

KAISER : (Société Kaiser-Wilhelm) .

HYLSA :Société Chimique de Français aujourd'hui TENOVA .

HYL : le plus ancien procédé industriel de réduction directe au gaz naturel .

MANNESMAN-DEMAG :(aujourd'hui Mannesmann röhren-WerkeGmbH) .

DRI :éponge de fer .

CRAPC :centre nationale de la recherche scientifique en analyse Physique-chimique .

DRX : La diffraction des rayons X .

FX :La fluorescence des rayons X .

ATD/ATG :Analyse thermogravimétrique .

LISTE DES ABRIVIATION

SM :Séparation magnétique .

FM :fraction magnétique .

FnM :fraction non magnétique .

Hz :hertz .

C/O :Le rapporte charbon sur oxygène .

PME : petite et moyen entreprises .

PMI :petites et moyens industries .

AFNOR :Association Française de Normalisation .

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie minière est une activité qui a pour objet l'extraction et le traitement de différents minerais qui représentent un pôle industriel et économique, elle joue un rôle important dans l'économie mondiale [2]. C'est une industrie unique par l'impact complexe qu'elle peut avoir sur le développement économique local, sur l'environnement, sur les profils socioculturels souvent typiques des vastes zones minières d'un pays ou d'une région particulière [3].

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[3].

La majorité des réserves naturelles de l'Algérie réside dans la partie Sud (Sahara), ces richesses représentent le trésor naturel et la base de l'économie de pays, ces potentiels minéraux ne sont pas complètement exploités, tel que le gisement de Gara Djebilet qui n'est pas exploité à ce jour, à cause de sa teneur élevée en phosphore et surtout du fait de sa structure oolithique. Le minerai de fer de Gara Djebilet est un minerai oolithique avec des oolithes de petites dimensions comprises entre 100 et 400 μm . Le fer est présent sous forme de différents minéraux (magnétite, maghémite, hématite, goethite, apatite, chamosite, anapaite, collophane etc.) et le phosphore est présent sous forme d'apatite et de structure comprenant du fer et du phosphore.[4].

Le phosphore, qui se trouve fréquemment en tant que constituant de minerai de fer, est un élément extrêmement nocif dans la métallurgie des métaux ferreux car il augmente la fragilité et diminue la ductilité des produits en fer et en acier, et comme le prix de minerai de fer augmente, il est nécessaire d'une déphosphoration de minerai de fer jusqu'à une teneur qui répondre aux normes internationales.

Par notre présent travail sur l'analyse et caractérisation du minerai de fer de Gara Djebilet, nous essayons de répondre à la problématique de présence élevée du phosphore à l'intérieur de la texture de minerai, par une étude de caractérisation et d'application de la séparation magnétique pour son traitement.

INTRODUCTION GENERALE

A cet effet, nous avons structuré notre travail en trois chapitres distincts précédés par une introduction générale et ils terminent par une conclusion générale et recommandations :

Une présentation générale du gisement, qui aborde sa situation, la géologie et les travaux d'enrichissement, est le contenu du premier chapitre.

Le second chapitre traitera les travaux de caractérisation et de traitement du minerai suivi par les interprétations et discussion des résultats obtenus aux dernier chapitre. Le manuscrit termine par une conclusion générale et des recommandations.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LE GISEMENT DE
FER DE GARA DJEBILET

I.1. Introduction

Le gisement de fer de Gara Djebilet est l'un des plus grands dépôts naturels de fer oolithique dans le monde, découvert en 1952 par le géologue Francis M Gevin [5].

Aujourd'hui, la conjoncture des marchés du fer et de l'acier est telle qu'elle permet d'envisager le développement du gisement de fer de Gara Djebilet dans des conditions économiques favorables à l'effet de satisfaire les futurs besoins nationaux en minerais de fer et en produits sidérurgiques à l'horizon 2025, qui seraient de l'ordre de 15-20 millions de tonnes en minerais de fer et 8-12 millions en produits sidérurgiques [4].

Ce chapitre est une présentation générale du gisement de fer de Gara Djebilet ,a savoir sa position géographique, et ses caractéristiques géologiques et en fin les études entravés de valorisation et d'enrichissement réaliser sur le gisement et présentés par l'ensembles des études effectuées par les différentes sociétés nationales et étrangères, pour un but essentielle qui est la détermination des méthodes adéquates pour la réduction des teneurs de phosphore.

I.2. Situation géographique

Le gisement de Gara Djebilet est situé à 130 Km au Sud Est de la ville de Tindouf, près de la frontière Algéro-mauritanienne, à 380 Km à vol d'oiseau de l'océan atlantique et à 1600 Km au sud de la côte Algérienne.

Le gisement est facilement accessible par route à partir de la ville de Tindouf (130Km) est régulièrement desservie par la compagnie algérienne aérienne à partir d'Alger, et est également reliée à Béchar par route (980 Km). La wilaya de Béchar est à son tour connectée au Nord du pays par route et chemin de fer (fig.1).

La topographie générale de Gara Djebilet est celle d'un immense plateau dont l'altitude varie autour de 400 à 600m au-dessus du niveau de la mère, située légèrement au Sud de la 27^{ème} parallèle .La région de Gara Djebilet fait partie des zones d'aridité extrême (40mm de chute de pluie annuelle en moyenne) ou la période des fortes chaleurs va de juin à septembre inclus, avec des températures maximales de l'ordre de 40°. [4]

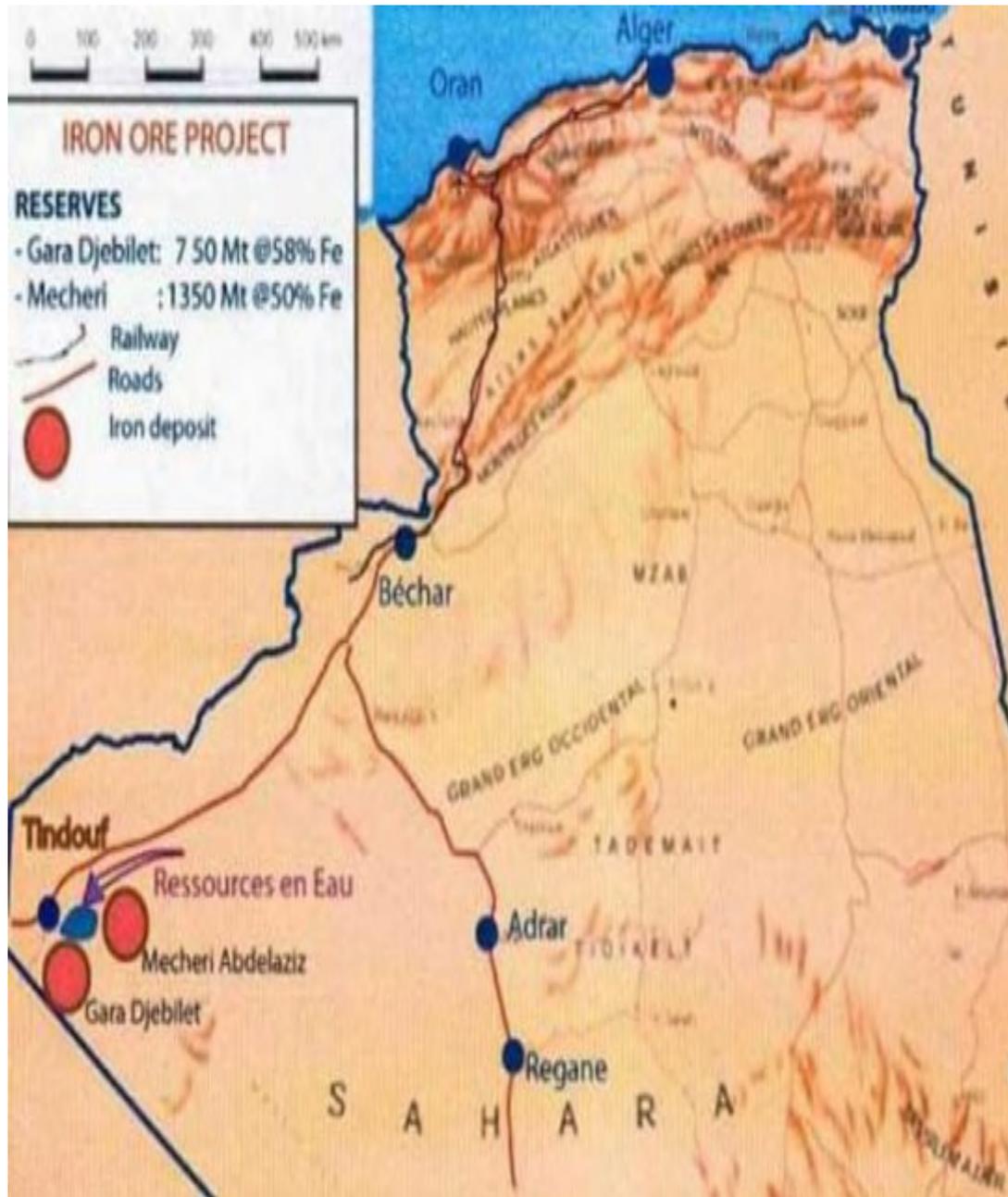


Figure 01 : Situation géographique du gisement de fer de Gara Djebilet[16]

.I.3.cadre géologique

.I.3.1 .La géologie de la région de gara Djebilet

.I.3.1.1.Au plan structural

La tectonique ayant affectée le flanc sud du bassin de Tindouf, se manifeste par d'importantes failles de direction NE-SO et ENE-OSO recoupant cette région, sont liées aux montées magmatiques (gabbro-dolérites). Ces roches se présentent sous trois formes :

.I.3.1.1.1.En dykes : qui correspondent au type de structure le plus répandu dans cette région. Il s'agit de longs dykes, généralement peu épais (1 à 10 m), dont un triple faisceau (Fig. 2), orienté OSO-ENE recoupe la série paléozoïque du flanc sud du bassin de Tindouf entre les méridiens 6°10' et 8°30' Ouest.

.I.3.1.1.2.En sills : qui sont rares et peu épais dans cette partie du bassin de Tindouf. Ils sont souvent injectés dans les formations argileuses du Famennien. D'autres sills affleurent parfois à l'Est, dans la région de Bou-Bernous.

.I.3.1.1.3.En massifs intrusifs : Probablement des « cheminées », sont également connues dans la région et affectent des surfaces importantes.

L'âge des dolérites de la couverture sédimentaire du flanc sud du bassin de Tindouf est postérieur au Carbonifère supérieur, probablement Mésozoïque.[10]

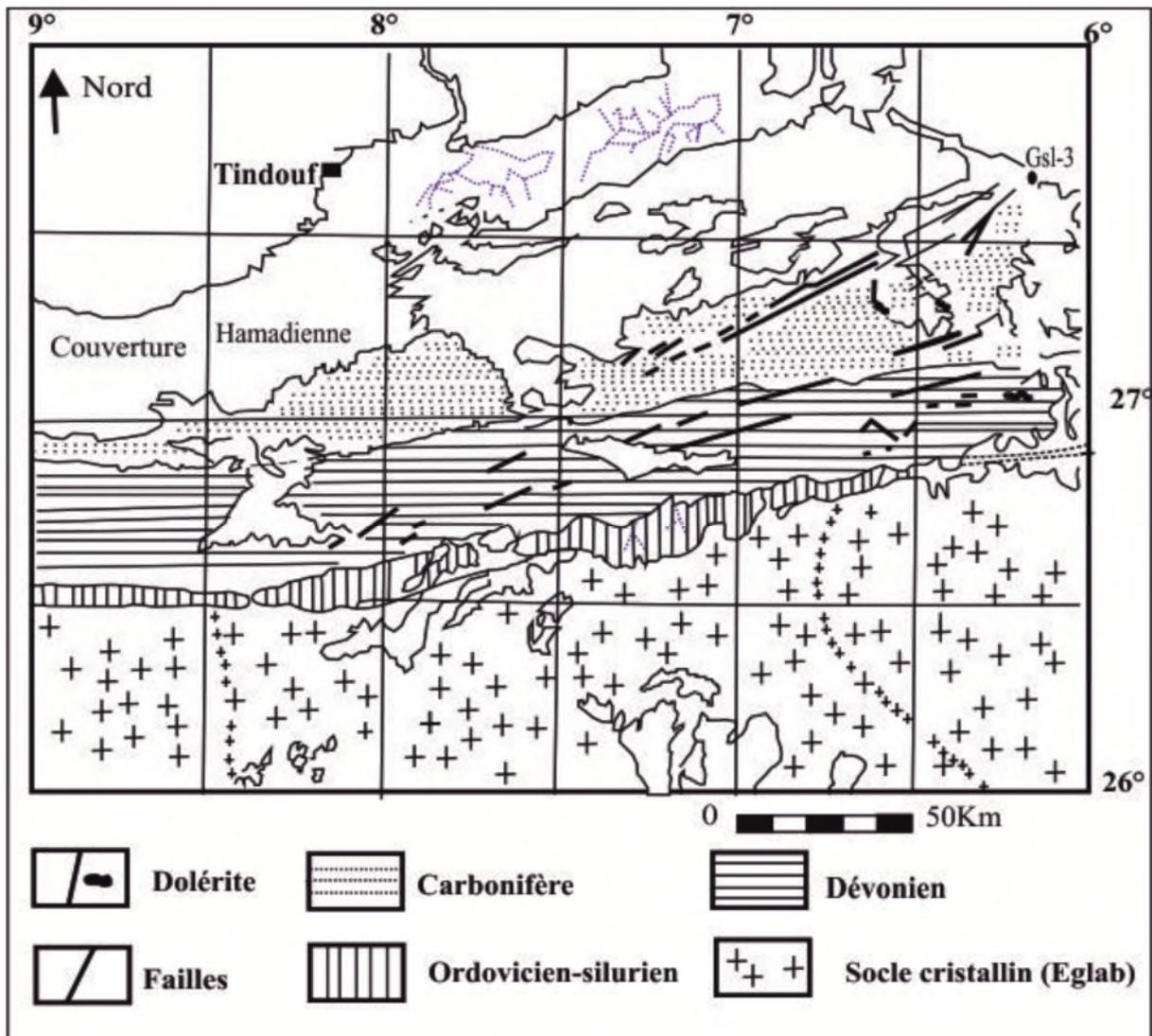


Figure N°2 : Carte structurale de la zone étudiée [11]

I.3.1.2. Au plan stratigraphique

les études géologique nous montre la succession lithologique suivante :

I.3.1.2.1 .Silurien : Ils affleurent sans interruptions depuis le Zemmour jusqu'à l'Erg Chech avec une décroissance très nette des épaisseurs à partir d'Aouin et Bel Egraa (120 à 2m).

Le Silurien est essentiellement argileux et forme des séries monotones.

I.3.1.2.2. Le Dévonien : est bien représenté d'Ouest en Est, et subdivisé en trois parties : [11]

.a. Le Dévonien inférieur : il est caractérisé par une variations d'épaisseur de 150m a Gara D jusqu'a 60m a Gour Jiffa. la succession lithologique est différentes, elle montre de bas en haut:

- une bas de faciès conglomératique franc soit rare et remplacé par des micros ferrugineux .
- un ensemble argilo-silteux doublé à l'Ouest d'une série argilo-calcaire assez semblable à celle du Gothlandien sous-jacent .

- un complexe gréseux et argilo-gréseux avec quelques niveaux de minerais de fer.

Les grès sont souvent grossiers, parfois ferrugineux ou contenant des passées conglomératique montrent également des stratifications entrecroisées et des «hardsgrounds» , tandis que des ripple-marks apparaissent dans les faciès argilo-gréseux, très souvent micacés. C'est à la partie supérieure de cet ensemble, et dans la région de Gara Djebilet, que le faciès oolithique ferrugineux atteint un développement remarquable.

.b. Le Dévonien moyen : Il affleure dans le lit d'Oued Talha. Cette formation offre des caractères lithologiques franchement marins. a pu distinguer dans le Dévonien Moyen, les ensembles suivants :

- La zone à *Cultrijujatus* du couvinien inférieur (actuellement Emsien terminal à Eifilién basal), d'abord argilo-gréseux à l'Ouest, puis gréseux entre le Mabbès et Gara Djebilet, pour devenir marno-calcaire à calcaire ver l'Est. Sa puissance faible et oscille entre 5 et 15m.

- les marnes gréseux jaunâtres a *Calceolas* « du couvinien supérieur » présent un maximums d'épaisseur au droit de l'Oued Talha (80m).

- un ensemble marno-calcaire de « Giviétien inférieur » dans la puissance décroît ver l'Est (90m à 10m). Cet ensemble se présent sous forme de bancs « coralligènes » très constant, parfois marques par des lentilles alignées, très riches en polypiers et brachiopode.

.c. Le Dévonien supérieur : La puissance du Dévonien Supérieur ,variable de l'Ouest vers L'Est avec une diminution irrégulière de (300 m à 220m). On distingue trois ensembles :

- un ensemble argilo-gréseux, ou s'intercalent des lentilles calcaires, Souvent lumachellique.

- un ensemble argileux ou argilo-silteux « ripple marks » admettant des lits gypseux minces.

- un ensemble argilo-gréseux supérieur évoluant, de plus en plus, vers l'argile siltueuse, à mesure que l'on se déplace vers l'Est (tableau 1). [11],[13],[14]

Tableau N°01: La lithostratigraphie du bassin de Tindouf .[12]

Echelle stratigraphique			Bassin de Tindouf		
			Sud	Nord	
DEVONIEN	Inférieur	Emsien	Grès supra-minéraux	Grès du 2ème Rich	
		Praguien Lochkovien	Grès de Djebilet	Argiles et calcaires du 1er Rich	
SILURIEN	Supérieur	Pridolien Ludlowien	Argiles de la Sebkhha	Argiles à Graptolites	
	Inférieur	Wenlockien Llandovérien	Mabbes		
ORDOVICIEN	Supérieur	Ashgillien	Grès de Rhezziane	Grès du 2ème Bani	
		Caradocien		Grès de Rouid Aissa Schistes de Ktaoua	
	Inférieur	Llandeinién	Argiles d'Arouetta	Grès du 1ème Bani	
		Llanvirnien		Argiles de Tachilla	
		Arénigien		Schistes des Feija	Grès de Zani Schistes de Fazouata supérieurs
		Trémadocien		Schistes de externes	Schistes de Fazouata inférieurs
CAMBRIEN	Supérieur				
	Moyen	Grès d'Arouetta supérieurs	Grès à Lingules Schistes à Paradoxides		
	Inférieur	Grès d'Arouetta inférieurs	Grès terminaux Schistes de base Grès de Calcaires à Tikirt Archeocyathidés Groupe de Jata (Adoudounien)		
NEOPROTEROZOÏQUE			Groupe de Ouarzazate (PIII) (Série volcano-détritique et argilo-gréseuse rouge) Groupe de Saghro (PII-III) (Série volcano-détritique) Précambrien II (Série schisto-quartzique)		
	PALEOPROTEZOÏQUE		SOCLE DE REGUIBAT (EBURNEEN)		

Echelle Stratigraphique			Bassin de Tindouf		
			Sud	Nord	
PERMIEN(Autunien)					
CARBONIFERE	Supérieur	Stéphanien		Série de Merkala Grès d'Ouadene	
		Westphalien (Moscovien)			
	Inférieur	Namurien	Sup	Argiles et grès d'hasi Aoualeoul	Série de Djebel Rouina
		Viséen	Inf	Evaporites d'in Barka	Série de l'Ourkaziz
	Inférieur	Tournaisien	Sup	Argiles, grès et Calcaires du Kerb es Sefiat	Série de Betaina
			Inf	Argiles et grès du Kerb Es Slouguia	Grès de Tazout
DEVONIEN	Supérieur	Strunien	Grès de Kerb En Naga	Argiles du Dra	
		Famennien	Argiles de l'Oued Slouguia		
	Moyen	Frasnien	Siltites de l'Oued Rhazzal		
		Givétien	Calcaire de la Kerba Tsabia	Calcaires à Ptéropodes	
	Eifélien (Couvinien)	Argiles de l'Oued Talha	Argiles à Ptéropodes		

I.3.1.3. Le Carbonifère :

sont dernières formations Paléozoïques du ce bassin (Permien non daté).On distingue:

I.3.1.3.1.Le Carbonifère marin : Le Tournaisien est gréseux-calcaire à l'Ouest et devinrent argileux-gréseux au niveau méridienne, l'épaisseur augmenter d'Ouest en Est de (50à150m).

-Le Visien inférieur présente une croissance vers l'Est (80 à 300m), et sans discontinuités .

-Le Visien supérieur commence par marnes et grès .L'épaisseur décroît vers l'Est 600-550m.

I.3.1.3.2Carbonifère continentale : Le Namurien n'y est que supposé au sien de 300m de terrains argilo-gréseux d'un environnement laguno-lacustre

-Le Westphalien ,existé au droit de la ville ,a 80m d'argile et grès végétale(Fig.3) .[10]

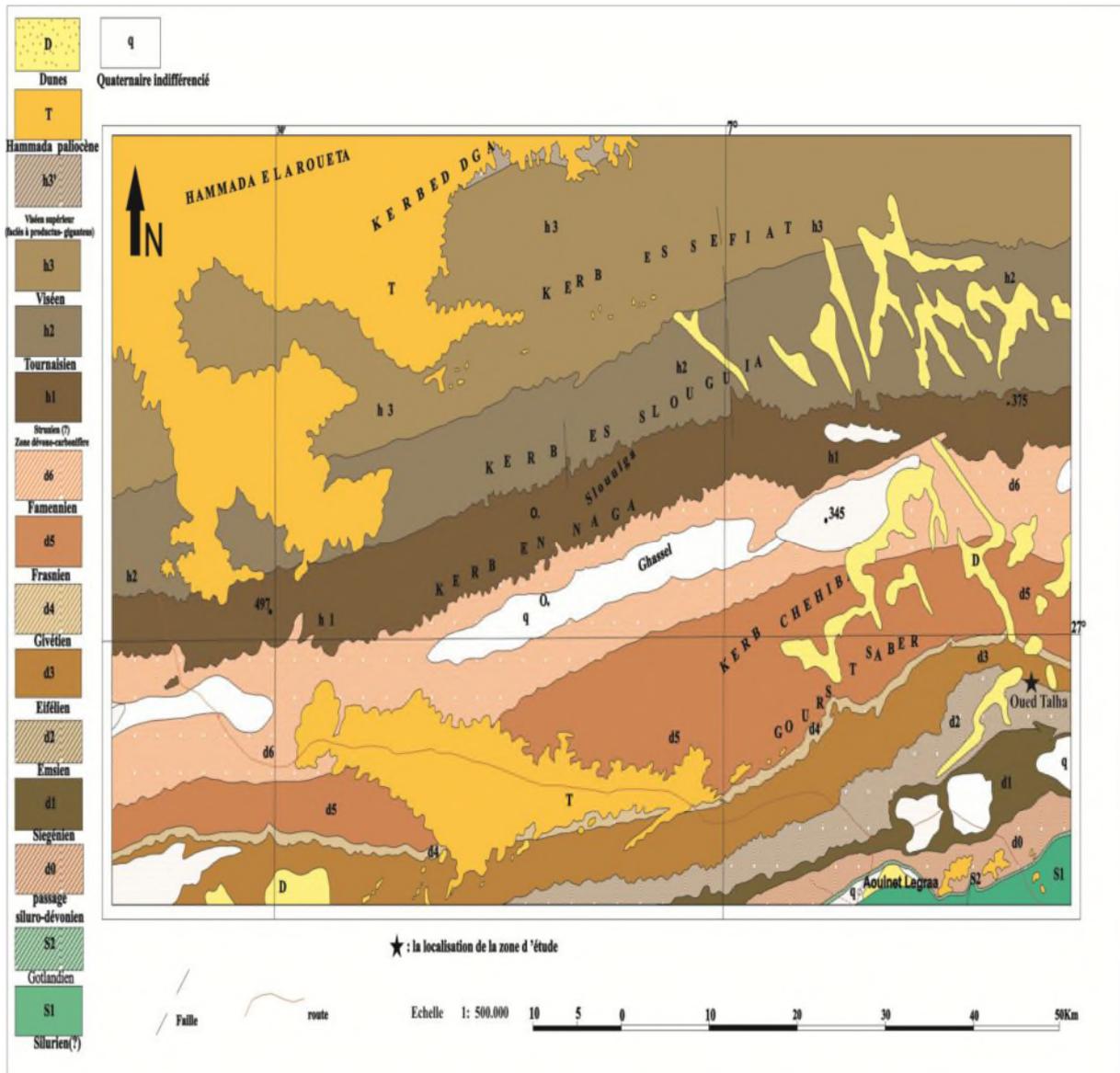


Figure N°03: le carbonifère de Gara Djebilet .[10]

I.3.1.4.découpage séquentielle

I.3.1.4.1. Les discontinuités

a. Discontinuités majeures -Discontinuité **D1** : Elle est traduite par un changement de faciès qui marque le passage des grès rougeâtre aux marnes brunâtre de la formation d’Oued Talha

b. Discontinuités mineures En plus de la discontinuité décrite ci-dessus, deux discontinuités de mêmes natures et d’importances moindres sont repérées le long de la coupe. Ces discontinuités limitent les membres et les termes de cette coupe.

- **Discontinuité d1** : elle montre le passage des marno-calcaires aux marnes gypseuses.

Elle est matérialisée par une dalle de calcaire tapissée par des oxydes de fer (ferrugineuse).

- **Discontinuité d2** : Elle marque le début du membre supérieur. Elle se traduit par la disparition des calcaires lumachelliques , matérialisée par une surface ferrugineuse. [10]

.I.3.1.4.2.Découpage séquentiel

Les trois discontinuités encadrent deux séquences et deux mésoséquences (Fig.4):

.a. Mésoséquence (S1) :c'est le membre inférieur de la formation d'Oued Talha. Elle est marquée à sa base par une discontinuité majeure (D1). sa tendance générale ,montre un enfoncement depuis les faciès continentaux (Gara Djebilet) jusqu'aux faciès carbonatés d'un milieu marin.ell's'individualise en deux séquences élémentaires transgressives. Les Limites supérieures des deux séquences sont soulignées par des surfaces ferrugineuses (S1a et S1b).

.b. Mésoséquence (S2) : marquée à sa base par une discontinuité mineure (d2), elle traduit une évolution transgressive depuis les faciès marneux gypseuse jusqu'aux faciès carbonaté. Les deux mésoséquences (S1 et S2) constituant les deux membres nous donnent Une méga séquence d'enfoncement à tendance transgressive (SI) pour la formation d'Oued Talha (Fig.4)

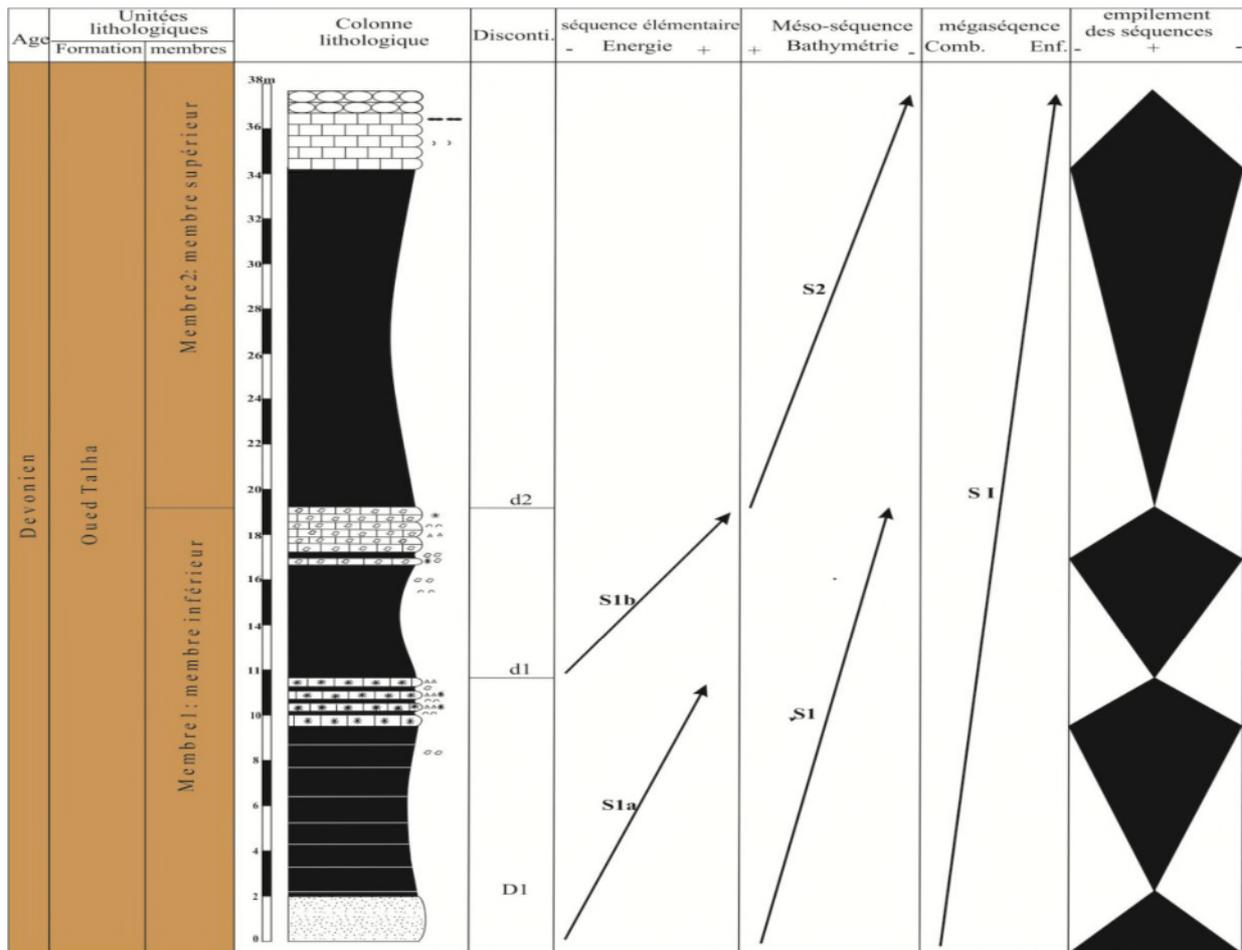


Figure N°4 : interprétation séquentielle de la formation d'Oued Talha et gara Djebilet[10]

.I.3.1.4.3. Milieux de dépôts

Sur la base de la sommation des caractéristiques paléontologiques et lithologique, on peut considérer le milieu de sédimentation des alternances marno-calcaires, à intercalations de sédiments gypseux de la « Formation d'Oued Talha » comme un milieu marin peu profond.

.I.3.2 . La géologie de gisement de Gara Djebilet

Le gisement de fer de Gara Djebilet ,Il affleure d'Ouest en Est sur 50Km. Il est composé de trois lentilles de minerais oolithique d'origine sédimentaire (fig ,5), toutes situées dans le même niveau stratigraphique que l'on attribue au sommet du dévonien inférieur (Emsien) et allongées approximativement dans la direction (WSW-ENE).Le corps du minerai est subhorizontal et s'enfonce en pente douce et régulière de 2°vers le Nord.

Les lentilles de ce gisement sont d'extension kilométrique (fig ,5), distant l'une de l'autre d'environ 9Km avec une superficie totale de 130 Km². La puissance de la formation ferrugineuse varie de 15à 30m et la minéralisation se présente sous la forme de trois niveaux superposés. Le niveau le plus riche est magnétique avec une puissance moyenne de 8,5m et une teneur de 58%Fe, cette couche couvre 34Km² a Gara Ouest, et 72Km² a Gara centre.[6]

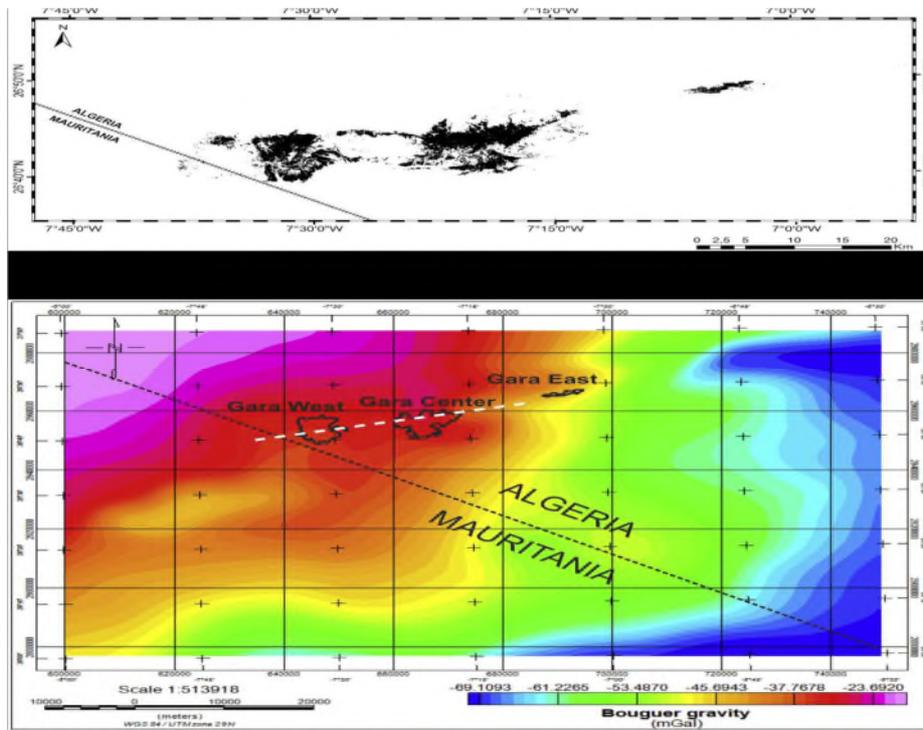


Figure N°5 :les trois lentilles (parties) de gisement de fer de Gara Djebilet .[15]

I.3.2.1. les couches de minerai du gisement

Le gisement de Gara Djebilet est constitué de trois couches de minerais superposé :

- **Couche de mur C3:** le minerai est oolithique non magnétique ,d'épaisseur très variable pouvant dépasser 10m. Les teneurs en fer varient entre 40et 57 % et atteignent exceptionnellement 58%.

- **Couche intermédiaire C2:** le minerai est oolithique magnétique et souvent lité teneur moyenne en fer dépasse 57% sur le gisement centre , 58% sur le gisement Ouest et atteint 63 % dans les parties les plus riches.

- **Couche de toit C1:** le minerai est oolithique non magnétique ,bien que parfois élevées, les teneurs moyennes en fer sur la hauteur de cette couche dépassent rarement 50%.

Au toit de ce minerai, on trouve d'épaisses séries gréseuses attribuées à l'Eifelien et débutant par une lumachelle très continue. Cette dernière est parfois au contact du minerai, mais souvent séparée par quelques décimètres de pélites , d'argiles, et de quartzites dépourvus de fossiles.

La couche C2 est caractérisée par un minerai de fer oolithique massif à grain moyen a grossière dont l'épaisseur varie de 2 m a 6-19m dans les forages. Elle est constituée de deux couches distinctes C2M(magnétique) et C2NM (non magnétique).

Le faciès magnétique (C2M) forme de grandes parties cohérentes du lit central de C2et peut donc être considéré comme un corps minéralisé séparé. Dans le lit C2 il y a une transition latérale fort a graduelle dans le faciès de minerai de fer non magnétique (C2NM) principalement vers l'Oust et le Nord.

La limite entre les couches peut être graduelle et ne peuvent être définies que par la présence de la propriété magnétique .

Dans d'autres endroits, le contact entre les lits C2etC3 peut être très aigu ou transitoire avec des couches magnétiques ou non magnétiques présentes en même temps.

La couche C3, a un développement sporadique dans le Sud de gisement de Gara Djebilet en raison de l'érosion intense. Cette couche de roches ferrugineuses dominée par l'hématite et principalement non magnétique peut être observée dans la plupart des trous de forage nordique et dans quelques affleurements de la partie Nord de la zone de permis. [6]

I.3.2.2. Caractéristiques physico-chimiques de minerai

Densité : la densité de minerai de magnétique de Gara Djebilet Ouest varie entre 3,2 et 3,9 et la densité moyenne est de 3,5 pour un minerai à 58% de fer. Pour le minerai de fer magnétique de Gara Djebilet centre, la densité varie entre 3,5 et 4,3 et la densité moyenne est très voisine de 3,8 pour un minerai à 57% de fer.

Porosité : elle varie considérablement suivant la composition des minerais .La porosité moyenne est de 18% pour le minerai magnétique de Gara Djebilet Ouest, et de 15% pour le minerai magnétique de Gara Djebilet centre [6].

I.3.2.3. Minéralogie de minerai

Le minerai de Gara Djebilet est composé de nombreux minéraux ferrifères dont la magnétite ,la maghemite (magnétite altérée), l’hématite, la goethite, la chamosite, la sidérite, la martite et la pyrite.

L’apatite et la crandallite sont les deux minéraux non ferrifères importants relevés. Le phosphore, élément nuisible, se localise principalement dans l’apatite authigène, mais aussi dans la crandallite et la florencite, localement les phosphates du groupe crandallite sont en partie responsable des teneurs en arsenic [6].

Tableau N°02 : Composition chimique de minerai de fer de Gara Djebilet après essai de bouletage .[09]

Elements	Fer total	Fe ⁺⁺	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
Taux %	55.46	6.52	5.68	2.91	4.21	0.39
Elements	Na ₂ O/K ₂ O	P ₂ O ₅	S	P	MnO	PF
Taux %	1.23	0.07	0.51	0.84	0.29	5.24

Les propriétés chimiques des boulettes particulièrement pour le point fer a tendance à diminuer avec l’augmentation de l’indice de basicité et atteint pour les boulettes à indice de basicité égale à 2.0, une valeur de 54 % .Ceci s’explique par l’augmentation de la quantité de chaux dans le mélange à bouleter favorisant la formation de la phase silico- ferrite de calcium et d’aluminium au cours de la cuisson, fusible à basses températures [09]

I.4.les travaux réalisés sur le gisement de Gara Djebilet

Plusieurs essais ont été effectués sur le minerai de fer de Gara Djebilet dont le but avoué, est d'éliminer au maximum la quantité de phosphore qui existe. Les principaux travaux conduits sur le gisement de Gara Djebilet pour la valorisation de ce minerai sont résumés ci-dessous.

I.4.1.Travaux de valorisation du minerai de fer

_ 1. En 1962 : après la réussite des phases de la prospection et d'exploration étalée sur 10 ans, la société S.E.R.M.I s'est résolue à construire une usine pilote de préparation du minerai à proximité immédiate des gisements de fer, pour but d'étudier les possibilités de son enrichissement.

_ 2.En 1963 : les premiers essais de préparation de minerai de fer ont été effectués. La préparation de fines à haute teneur a été réalisée plus tard par L'IRSID.

_ 3.De 1966à1967 :FRIDE KRUPP ROHSTOFFE a réalisé pour le compte de la SONAREM (société nationale de recherche et d'exploitation minière,) une étude pour objectif optimal l'obtention de minerais enrichis pour l'exportation, ou de produit à degré de réduction plus élevé, ou encore de produits métallisés. L'étude a été également axée sur la possibilité de l'alimentation d'une usine sidérurgique nationale par le minerai de Gara Djebilet.

_ 4.De 1965à1988 :des études sur l'enrichissement du minerai de fer de Gara Djebilet, et des essais de traitement métallurgiques approfondis sur ce dernier pour étudier son agglomération, sa réduction par filière haut fourneaux (HF) et réduction direct (RD) par le gaz, ainsi que des essais de production d'acier par EAF (Four à arc électrique) et BOF (Four à oxygène de base), ont été effectués par des compagnes de renom telles que, LKAB,IRSID,NSC, KAISER, HYLSA, et MANNESMAN-DEMAG, en collaboration avec les sociétés Algériennes SONAREM et SNS [7].

I.4.2.Principaux résultats obtenus

I.4.2.1. Enrichissement du minerai

Divers schémas de traitement ont été effectués en laboratoire par des étapes multiples de broyage, séparation magnétique et flottation jusqu'au grillage magnétisant et lixiviation.

Les essais de calcination à 1000°C du minerai de fer dans un four rotatif ont donné de bons résultats. Combiné aux procédés classiques, il est possible d'obtenir un concentré :

- Enrichi à 63% de Fe, avec un taux de récupération du fer de plus de 85% ;
- De teneur en éléments indésirables divisée par 2, mais le taux de Phosphore demeure 4 fois supérieur au niveau admissible : passage de 0,8% à 0,4% P.[8]

Les meilleurs résultats obtenus (diminution de la teneur en phosphore à 0,15-0,18% P) ont été réalisés uniquement en laboratoire, via une lixiviation sur un concentré obtenu par les procédés classiques, d'une teneur de 0,5%P. [6]

I.4.2.2. Agglomération et pelletisation

Des essais d'agglomération et de bouletages (pelletisation) de minerai ont été menés entre 1970 et 1990 pour la production d'acier. Elles ont montré la possibilité de produire :

- Des agglomérés basiques auto-fondant, en partant des fines concassées (0-10mm), mais avec une faible productivité ;
- Des boulettes crues et cuites en partant de fines de broyages (50-70 μ m) en utilisant un liant, la bentonite ou la chaux métallurgiques hydratée[6]

I.4.2.2.1. Elaboration de l'acier

Des études et des essais ont été menés et effectués pour évaluer la possibilité de produire de l'acier de bonne qualité et qui répond aux normes de la sidérurgie et la métallurgie de fer à partir du minerai de fer de Gara Djebilet par :

- La filière métallurgique classique : Haut fourneau, convertisseur à oxygène.
- La production directe et le four à arc électrique.
- ❖ **Filière Haut fourneau, convertisseur à oxygène**

à partir de ce minerai de fer on peut produire de l'acier à teneur minimale de (0,015-0,02%P) avec quelques aménagements techniques et des désavantages économiques tels que :

- _ une consommation importante de Coke (>600kg/tonne de fonte) due à la haute teneur en alumine du minerai, nécessitant des additions massives de dolomie et de castine .
- _ Une faible productivité des convertisseurs à oxygène à cause du cycle d'affinage plus long .[8]

- ❖ **Filière de réduction directe et le four à arc électrique**

SIDER, a réalisé des tests de réduction directe au gaz naturel qui ont démontré la bonne réductibilité du minerai de fer de Gara Djebilet.

Des essais semi industriels (400 tonnes de minerai de fer brut concassé) ont été réalisés par la société HYLAS (aujourd'hui TENOVA) sur ses installations pilotes de réduction directes (procédé HYL) et de fusion au four à arc électrique (Filière de réduction direct RD). Ces essais ont permis d'obtenir une éponge de fer (DRI) acceptable pour la production de l'acier de très bonne qualité et à très faible teneur en phosphore (<0,02% P) à partir de cette éponge. moyennant la combinassent des opérations de déphosphoration du minerai de fer : insufflation de chaux ,oxyde de fer, injection dioxygène, décrassage intermédiaire de la scorie.[8]

I.5. Etude sur le transport du minerai de fer

En 1970, le générale Electric/TEMPO a conduit une étude sur le transport du minerai par chemin de fer, de Gara Djebilet vers la région de Macta dans le golfe de Arzew (Nord-ouest du pays : entre Arzew et Mostaganem). Cette étude a porté sur plusieurs variantes :

- Un system de transport qui se situerait entièrement en territoire Algérien ,allant de Gara Djebilet jusqu'à la Macta (Alternative Nord).
- Un system de transport allant de Gara Djebilet a un port de la côte atlantique marocain, et de la partde la mer à la Macta (Alternative Ouest).
- Un system de transport allant de Gara Djebilet a un port atlantique mauritanienne (Nouadhibou) et de la part de la mer à la Macta (Alternative Sud).

La compagnie Ford Bacon Davis a également conduit une étude sur le transport du minerai par chemin de fer, et a examiné en plus de ces trois alternatives, une 4^{eme} alternative ,à savoir :

- Un system de transport allant de Gara Djebilet a un port de la côte atlantique(Rio-de Oro)à travers le Sahara occidental, et delà par la mer à la Macta.

Ces études ont identifié les critères techniques de réalisation du système de transport et elles peuvent être regroupés en deux points essentiels :

- La détermination du tracé optimal du chemin de fer.
- L'identification, avec précision, des caractéristiques et spécifications des infrastructures (voie ferrée, fondation, ouvrages d'art ...) et du matériel roulant (wagons, locomotive...)
- Pour l'alternative du chemin de fer passant par l'Algérie, la longueur du rail pour le tracé retenu a été estimée à 1563Km [(voir Figure 1).[6]

I.6. Valorisation du gisement de Gara Djebilet

Les conclusions et recommandations établies à partir des nombreux travaux réalisés sur Gara Djebilet ,et en particulière ,celles relatives à la satisfaction des besoins nationaux convergent vers un point essentiel ;la solution optimale pour le développement des gisements de Gara Djebilet réside dans le développement d'une sidérurgie nationale afin de faire face à la demande sans cesse croissante en produits sidérurgiques dont la consommation actuelle avoisine les 5 millions de tonnes /an alors que les prévisions à l'horizon 2025 sont estimées à plus de 10 millions de tonnes.

Aussi, si l'on considère les projets de construction de complexe sidérurgiques et les projections d'extension du complexe d'El Hajjar, la demande nationale en minerai de fer à l'horizon 2025 sera d'au moins 20millions de tonnes. Cette demande ne peut satisfaire qu'à travers l'exploitation des gisements de Gara Djebilet et de Mecheri Abdelaziz.

C'est pour cette raison qu'aujourd'hui, ce projet est plus que jamais stratégique pour le développement économique de l'Algérie. Avec les projets de partenariats qui sont déjà inscrits, la nouvelle vision du projet ne s'arrête plus à la seule exploitation des mines de fer mais va bien au-delà, à travers l'intégration d'un complexe sidérurgique pour la production d'acier destiné en priorité au marché nationale.

De par son caractère intégré d'amont en aval ,le projet Gara Djebilet comprendra la réalisation de grandes infrastructures ,notamment ,des installations minières ,des installations de transports de minerai du fer (chemins de fer ou slurry pipeline ou autre), un complexe sidérurgiques au Nord-ouest du pays ,un port ,une centrale électrique ,des forages d'eau ,une base vie, etc. ; aussi , il visera une production de 20 à 40 millions de tonnes de minerai de fer dont une partie sera utilisée pour la production de 05 à10 millions de tonnes d'acier .[6]

I.7.Conclusion

Le projet Gara Djebilet se veut alors, un méga projet, structurant et stratégique. Outre sa rentabilité financière, il permettra de créer une forte dynamique de développement dans les secteurs des mines et de la sidérurgie Algérienne, de faire passer l'Algérie d'importateur net a exportateur net d'acier .

CHAPITRE II
GENERALITE SUR LE MINERIA
DE FER

II.1.Introduction :

Les minerais de fer sont des roches et des minéraux à partir des quels, le fer métallique est extrait. Le fer se trouve dans divers montants dans des gisements où il se produit principalement comme des oxydes, Fe_2O_3 (hématite) et Fe_3O_4 (magnétite), de sulfure FeS_2 , et de carbonate $FeCO_3$, ainsi que des silicates et nombreux autres minéraux de moindre importance . [18]

Au cours des dis 10 dernières années , les marchés financiers ont vu l'émergence d'une nouvelle matière première ; le minerai de fer, qui était au début de siècle commercialisé exclusivement sur la base de contrats à long terme conclus directement entre les grandes entreprises minières et les industries clientes, principalement les producteurs d'aciers (environ 98% de sa production mondiale est destinée (l'industrie sidérurgique). En effet, le minerai de fer est une matière première essentielle au développement des économies modernes (Olivier, 2012).[17]

II.2. Propriétés du minerai de Fer

Le fer est le 6^e élément le plus abondant dans l'Univers, il est formé comme « élément final » de fusion nucléaire, par fusion du silicium dans les étoiles massives. Tandis qu'il compose environ 5 % (en masse) de la croûte terrestre, le noyau terrestre est censé être en grande partie un alliage de fer-nickel, constituant ainsi 35 % de la masse de la Terre dans son ensemble. Le fer est peut-être, en fait, l'élément le plus abondant sur Terre ou du moins comparable (en juste 2^e position) en masse à l'oxygène, mais seulement le 4^e élément le plus abondant dans la croûte terrestre.

La première utilisation du fer remonte à environ 2800 avant JC, mais la réelle importance du fer n'était connue que vers 1350 avant JC quand la modernité de l'acier a commencé de remplacer le bronze au Moyen-Orient (Belhaj, 2008).[18]

Le minerai de fer possède des caractéristiques physiques et chimique qui détermine sont caractère et ses propriétés

II.2.1. Propriétés physiques

En fonction de la température, le fer se présente sous plusieurs formes allotropiques. Dans les conditions normales de pression et de température, c'est un solide cristallin de structure cubique centré (fer α ou ferrite) ; partir de 912 °C, il devient cubique a faces centrées

(fer γ ou austénite). Au-delà de 1394 °C, il redevient cubique centré (fer δ). Il fond à 1535 °C. La transformation en Fe ϵ (structure hexagonale compacte) ne se rencontre qu'à des pressions supérieures à 110 kilo bars.[19]

dans les conditions normales de température et de pression, c'est-à-dire aux basse températures ou « à basse température », un solide cristallin de structure cubique centré (fer α , structure appelée ferrite dans l'acier). Le fer α est fortement ferromagnétique : les moments magnétiques des atomes s'alignent sous l'influence d'un champ magnétique extérieur et conservent leur nouvelle orientation après la disparition de ce champ. Sa température de Curie est de 770 °C. Sa capacité calorifique est de 0,5 kJ·kg⁻¹·°C⁻¹. À température ambiante, il a une dureté entre 4 et 5 sur l'échelle de Mohs . Sa masse volumique avoisine 7,86 g·cm⁻³ à 20 °C. Le fer alpha est caractérisé par une chaleur de sublimation atomique équivalent à 99,6 kcal/atome-gramme à température ambiante (298 K) ;

le fer β bêta est une structure cubique face centrée obtenue au-dessus du point de Curie, vers 770 °C ou 1 042 K. Le ferromagnétisme du fer α disparaît sans réarrangement atomique ;

dès les hautes températures à pression ambiante, à partir de 912 °C, le fer α devient un fer cubique à faces centrées (fer γ , structure appelée ou austénite dans l'acier) , la transformation implique une variation d'énergie interne d'environ 0,22 kcal/atome-gramme à 1 184 K. Le fer γ est paramagnétique ;

au-delà de 1 394 °C ou 1 665 K, il redevient un minéral de maille cubique centré(fer δ) ; cette transformation implique une variation d'énergie interne d'environ 0,27 kcal/atome-gramme ;

la transformation en fer ϵ (structure hexagonale compacte) se produit à température ambiante à 130 kilobars.[20],[21]

II.2.2 les propriétés chimiques

Le fer appartient à la première série des éléments de transition. L'isotope le plus abondant a une masse atomique de 56, son numéro atomique est 26 et les électrons sont distribués selon : 1s², 2s², 2p⁶, 3s², 3p⁶, 3d⁶, 4s²[28]

II.2.3. Les alliages

certains métaux peuvent former des « solutions solides » avec d'autres éléments ou intégrer des « impuretés » dans leur réseau cristallin ; le carbone intégré dans le réseau cristallin du fer donne de l'acier ou de la fonte. Un alliage modifie les propriétés physiques du métal ; l'acier est, en effet, plus dur, plus résistant mais moins ductile que le fer pur (voir page sur l'acier dans ce dossier).

Le principal défaut du fer est son affinité pour l'oxygène et l'eau. La rouille (hydroxyde de fer) attaque le métal dans toute son épaisseur et limite la durée de vie des objets en fer. [29] Lissé à l'air libre en présence d'humidité, il se corrompt en formant de la rouille $Fe(OH)_3$ la rouille étant un matériau poreux, la réaction d'oxydation peut se propager jusqu'au cœur du métal [24].

Ténacité (résistance à la rupture par traction) : le fer est tenace : la charge de rupture d'un fil de 1 mm^2 de section est de 30 kg environ.[28]

Tableau N°03 : Caractéristiques du Minerai fer [28]

Symbole	Fe
Numéro atomique	26 avec les isotopes : 54 - 56 - 57 – 58
Masse molaire	55,845
Masse volumique	7874 kg.m^{-3}
Point de fusion	$1.536 \text{ }^\circ\text{C}$
Point d'ébullition	$2.861 \text{ }^\circ\text{C}$
Résistivité	$9,7.10^{-8} \Omega.m$
Dureté	4

II.3. la production mondiale de minerai de fer entre (2004-2015).

À partir de l'année 2004, les experts et certains chefs d'entreprise comme Guy Dollé, alors patron d'Arcelor, pointent le risque de pénurie à long terme pour le minerai de fer et un problème de sous-investissement dans le fret maritime pour l'acheminer vers les aciéries [25]. Le contrôle des approvisionnements a motivé la fusion à 147 milliards de dollars annoncée en 2008 entre l'empire minier BHP Billiton et son rival Rio Tinto, alors que la moitié du minerai de fer est exportée par mer -par les grands groupes miniers, l'autre étant produit localement par les pays utilisateurs[26].

La production mondiale de minerai de fer a atteint 3 320 millions de tonnes en 2015, soit une légère diminution par rapport à 2014 (3 420 millions de tonnes) et elle a continué de croître à la faveur de la reprise progressive de l'industrie sidérurgique après la crise, les nouvelles capacités extractives opérationnelles depuis mai 2011 ayant livré 125 millions de tonnes. La production de cette matière première, indispensable à la fabrication de l'acier, s'est accrue dans la plupart des régions et des pays sauf en Europe où elle est restée stable. Parmi les principaux fournisseurs, l'Australie a vu sa production augmenter de 12,7 %, le Brésil de 5,1 % et la Chine de 2,1 %. En Inde, la production est tombée selon les estimations à 196 millions de tonnes en 2011, soit une baisse de 7,5 %. En 2011, le commerce international du minerai de fer a atteint un record de 1,115 milliard de tonne.[27]

Tableau N° 04 : les principaux pays producteurs de minerai de fer .[25], [26]

Pays	2014	2015	2016
Australie	610	724	811
Brésil	391	399	426
Chine	315	194	123
Inde	136	130	142
Russie	109	102	102
Ukraine	81	68	82
Afrique du Sud	58	67	61
États-Unis	54	56	43

II .4. Marché mondial de fer et de l'acier

En ce début 2019, le fer fait plutôt bonne figure et se situe aux environs de 75 dollars la tonne. « Il oscille entre 55 et 75 dollars, ce qui est un niveau soutenable », précise Andrey Nikolaev . Cet analyste de Standard Pour s'explique la situation par l'absence d'investissements dans l'acier aux États-Unis comme en Europe et surtout par la rationalisation des capacités de production d'acier chinoises, décidée en 2017 et qui a entraîné une diminution de 100 millions de tonnes. « Les marges des aciéries n'ont jamais été aussi élevées depuis 2008 », ajoute-t-il, ce qui laisse augurer une stabilité des cours.

Mais celui du minerai de fer dépend aussi des programmes d'investissement dans les infrastructures, qui fleurissent. Tant que Donald Trump se trouve dans l'incapacité de réaliser

le programme massif de rénovation de routes, ports, ponts et voies ferrées dont son pays a besoin, le minerai se fait moins nécessaire. En 2018, il s'est ainsi tassé à 63 dollars la tonne.

En revanche, le plan chinois destiné à contrer l'effet dépressif de la guerre commerciale avec la Maison-Blanche comprend la construction de nombreuses lignes de métro, ce qui suppose l'utilisation de beaucoup d'acier. Le fer s'en trouve ragaillardé.[22]

En septembre 2019, le prix du fer s'établit à **93 dollars la tonne**, stable sur un mois et de 36% sur un an.

L'abondance de l'offre et le ralentissement de la demande tirent les prix vers le bas. Alors que les prix avaient triplé entre 2006 et 2011, ils sont redescendus depuis pratiquement à leur niveau d'avant-crise.[44]



Figure06 : le prix de minerai de fer depuis 2006 au 2019.

II.5. La métallurgie de fer

La microstructure d'un acier est déterminée par la composition chimique et le traitement thermomécanique appliqué pendant le processus de fabrication.

On distingue trois types d'aciers en fonction de leur teneur en carbone.

Tout d'abord les aciers hypoeutectoïdes qui contiennent jusqu'à 0,77 % de carbone et sont malléables. Puis les aciers eutectoïdes à 0,77 % de carbone. Et enfin les aciers hypereutectoïdes supérieurs à 0,77% de carbone. La microstructure d'un acier dépend aussi

du traitement thermique qui lui confère des phases. On en distingue trois : inférieure à 912 °C, de 912 à 1394 °C et supérieure à 1394 °C.[32].

II.5.1.définitions

II.5.1.1. le fer

Le corps simple est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, le plus souvent sous forme d'alliages divers. Le fer pur est un métal de transition ductile, mais l'adjonction de très faibles quantités d'éléments d'additions modifie considérablement ses propriétés mécaniques. Allié au carbone et avec d'autres éléments d'additions il forme les aciers, dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus les propriétés du matériau [29]

II.5.1.2.La Fonte

est un alliage fer-carbone contenant plus de 2 % de carbone, et d'autres éléments Elle peut être utilisée directement, le plus souvent par moulage. Mais la plupart de la fonte liquide produite est utilisée pour l'élaboration de l'acier .[23]

La fonte est 'un précurseur dans la fabrication de l'acier à partir de minerai de fer (hématite) et de coke .La fonte a une température de fusion allant de 1135C°à1350C°en fonction du pourcentage de carbone qu'elle contient, c'est l'alliage qui sort de haut fourneaux et qui sera affiné en acier par chauffage (décarburation) . [24]

II.5.1.3 l'acier

C'est un alliage fer-carbone contenant moins de 2 % de carbone, et d'autres éléments. Le fer contenu dans l'acier provient soit de minerai, soit du recyclage. L'acier produit en France, comme dans les autres pays développés, contient en moyenne un peu plus de la moitié de fer recyclé.

Dans les pays émergents tels que le Brésil ou la Chine, l'acier est produit majoritairement à partir de minerai puisqu'il n'y a pas encore suffisamment de recyclage. Pour transformer la fonte en acier, il suffit de la débarrasser de son carbone excédentaire en le brûlant avec de l'oxygène.

La composition chimique de l'acier liquide obtenu à partir de la fonte ou par fusion de fer recyclé doit ensuite être ajustée en fonction des propriétés de mise en œuvre et d'utilisation souhaitées.

L'acier liquide est ensuite solidifié, généralement sous une forme assez massive, puis mis en forme habituellement par laminage à chaud et éventuellement par laminage à froid pour les tôles les plus minces.

Les tôles minces peuvent être revêtues d'une couche très fine d'un autre métal, par exemple d'étain pour le fer-blanc ou de zinc pour les tôles galvanisées, voire enduites d'un revêtement organique (vernis, peinture...) avant d'être livrées.[23]

II.5.1.4. Les grandes familles

Il existe trois grandes familles d'aciers : les aciers non-alliés, les aciers faiblement alliés et les aciers fortement alliés.

- **Les aciers non-alliés pour un usage général**

La première famille des aciers non-alliés regroupe les aciers d'usage général utilisés dans le BTP et les aciers non-alliés spéciaux utilisés plutôt dans les outils, les moules ou les pièces mécaniques soudables, malléables ou forgeables.

- **Les aciers faiblement alliés, de haute résistance**

Les aciers faiblement alliés se caractérisent par leur haute résistance et le fait qu'aucun élément additionnel ne dépasse 5 % en masse.

- **Les aciers fortement alliés à très haute résistance mécanique**

La troisième famille des aciers fortement alliés se compose d'aciers dont au moins un élément dépasse 5 % en masse et sont réservés à des utilisations très spécifiques nécessitant des caractéristiques particulières comme une très haute résistance mécanique, une très grande résistance à l'usure et à la corrosion, une très faible dilatation et fluage. C'est dans cette famille que l'on retrouve, par exemple, les aciers inoxydables.

Les valeurs limites des alliages constituant ces différentes classes d'aciers sont définies par la norme AFNOR NF EN 10020.[32]

II.5.2 les étapes de la fabrication de l'acier

Pourquoi passer par l'étape fonte ? Dans la croûte terrestre, le fer se trouve sous forme d'oxydes. Pour les débarrasser de leur oxygène, il faut utiliser un élément «réducteur» capable d'arracher les atomes d'oxygène. Le plus économique est généralement d'utiliser du carbone sous forme de charbon, mais il est possible d'utiliser d'autres réducteurs tels que des gaz excédentaires de l'extraction du pétrole par exemple, en attendant une future production d'hydrogène à bon marché, ou d'autres procédés plus révolutionnaires. En utilisant du carbone, la réaction chimique conduit à un alliage liquide saturé en carbone, autour de 4,5 %, ce qui est beaucoup trop élevé pour la majorité des applications.

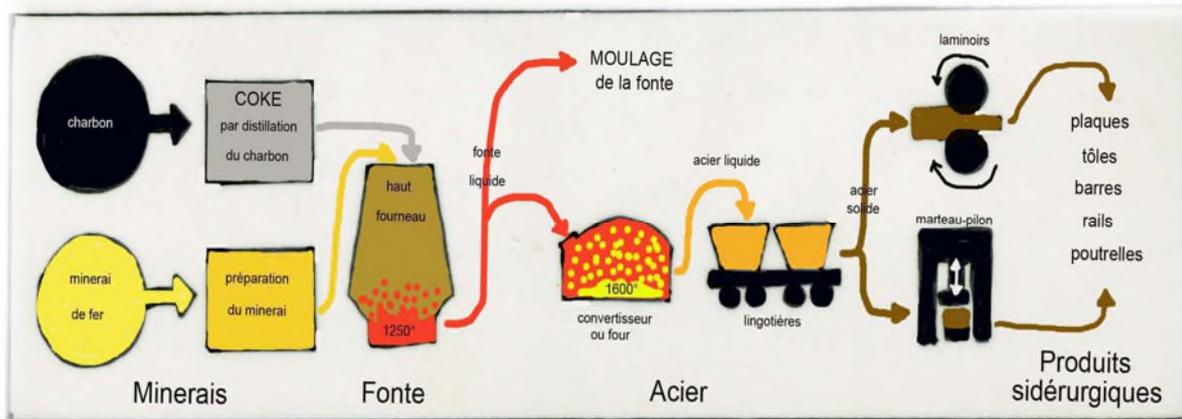


Figure N°07 : Les opérations nécessaires pour passer du minerai de fer à la fonte ou à l'acier.[33]

II.5.2.1. Le passage des matières premières à l'acier liquide

Il y a deux façons de fabriquer de l'acier liquide :

.A. Par filière fonte

Le minerai de fer est préparé, broyé et calibré en morceaux qui s'agglomèrent (ou s'agglutinent) entre eux.

Le minerai obtenu est concassé puis chargé dans un haut fourneau avec du coke – charbon cuit à une température de 1 200° C – qui sert de combustible. L'air chaud (1 200° C) insufflé à la base du haut fourneau provoque la combustion du coke. Par réaction chimique, les matières sont complètement modifiées. En effet, en brûlant, le coke apporte la chaleur nécessaire à la fusion du minerai et se transforme lui-même en oxyde de carbone. Cet oxyde de carbone va "réduire" les oxydes de fer, c'est-à-dire leur prendre leur oxygène et, de ce fait, libérer le fer du minerai.

Ainsi, à la sortie du haut fourneau, le fer est récupéré sous la forme d'un liquide : la fonte (le métal en fusion) sortant à une température de 1 400° C. On récupère également du laitier, un produit secondaire utilisé notamment pour la construction des routes. La fonte est acheminée vers l'aciérie dans des wagons thermos qui maintiennent sa température. Elle est introduite dans un convertisseur à oxygène pour être transformée en acier. Il s'agit d'une énorme cuve où la fonte est mélangée avec de l'acier usagé (ferrailles). En insufflant de l'oxygène pur, les éléments indésirables (carbone et résidus) contenus dans la fonte sont brûlés. On obtient alors du fer presque pur et liquide dit "acier sauvage" car, à ce stade, il est encore imparfait.[30]

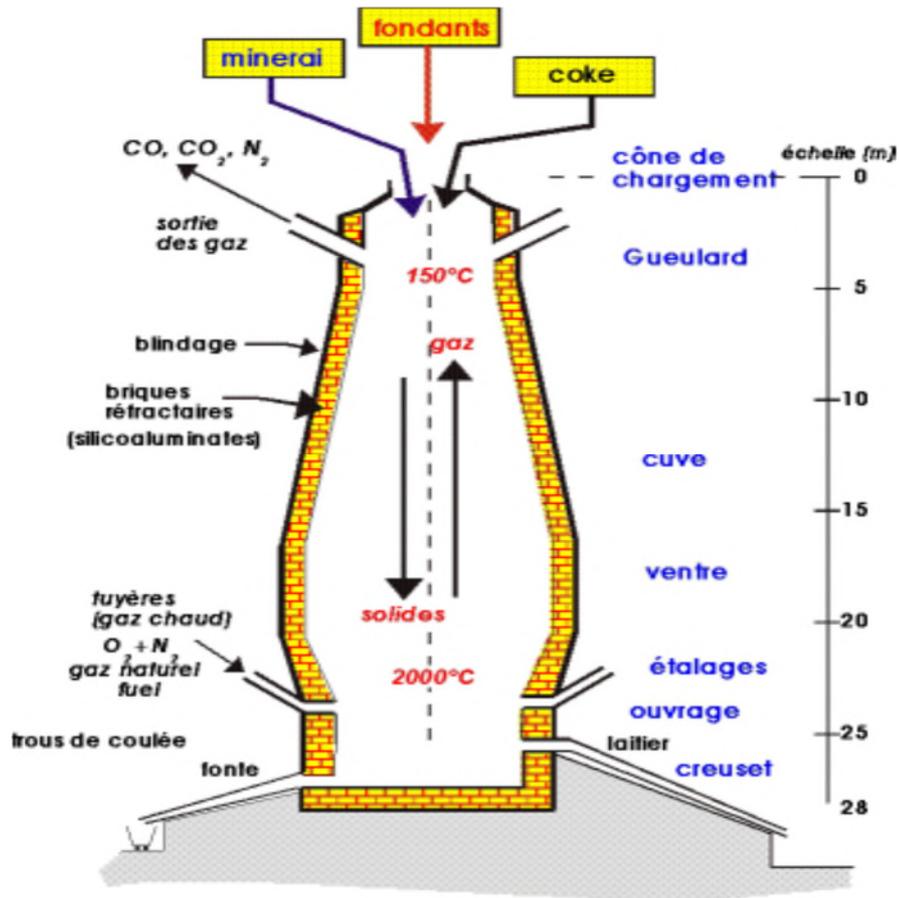


Figure N°08 :haut fourneau .[31]

B.par la filière électrique

On peut également produire de l'acier liquide à partir de ferrailles usagées provenant des emballages jetés, des bâtiments démolis, des machines et véhicules démontés, des chutes de fonte ou d'acier récupérées dans la sidérurgie. Un "panier à ferrailles", chargé à l'aide d'un aimant, achemine cette matière première jusqu'à un four. La ferraille fond grâce à des arcs électriques puissants. On obtient alors de l'acier liquide. Il peut avoir différentes caractéristiques en termes de résistance, d'élasticité, de malléabilité. Il peut aussi être inoxydable ou insensible aux températures extrêmes.[30]



Figure N° 09 :aciéries électrique [31]

II.5.2.2. Le passage de l'acier liquide aux demi-produits

L'acier liquide est solidifié par moulage dans une machine de coulée continue. L'acier en fusion s'écoule dans un moule sans fond. En traversant ce moule, il commence à se solidifier au contact des parois refroidies à l'eau. Le métal moulé descend. Arrivé à la sortie, il est solidifié à cœur. Il est alors coupé à la longueur voulue. On obtient ainsi des demi-produits : des barres solides, rectangulaires ou carrées, de 25 cm d'épaisseur environ, découpées en tronçons de 10 à 40 tonnes, et appelées brames ou billettes.[30]

II.5.2.3. Le passage des demi-produits aux produits finis

Ces brames d'acier ne sont pas encore exploitables en l'état. Il faut les retravailler pour obtenir les nuances et les épaisseurs nécessaires à la fabrication des produits finaux (appareils électroménagers, bâtiments, emballages...).

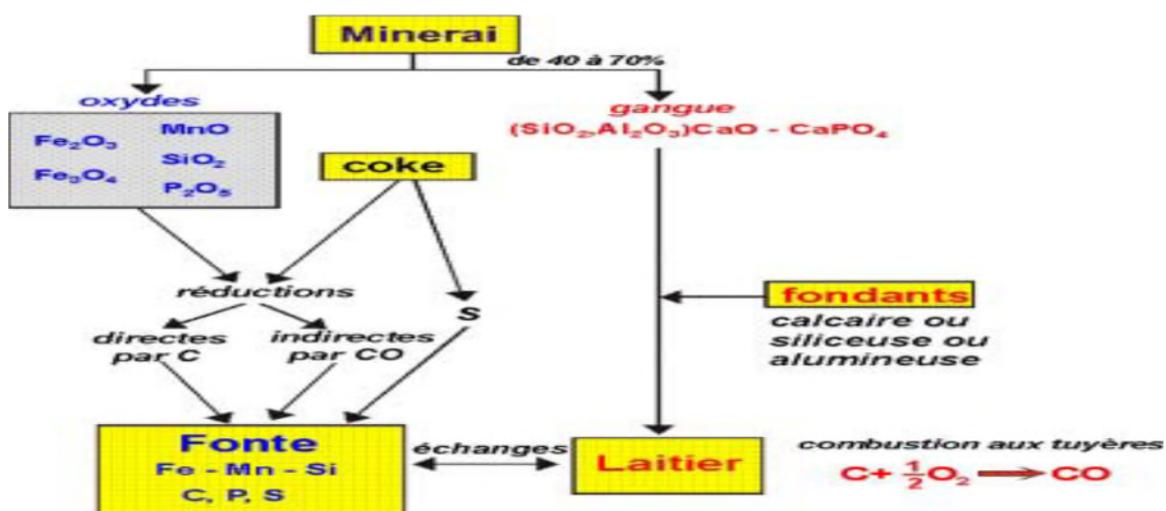


Figure N° 10 :les principales étapes d'élaboration d'un acier liquide .[31]

Trois étapes successives sont alors nécessaires ,Pour arriver a un acier finis

A.Le laminage a chaude

La brame est réchauffée dans un four à 1 200° C pour rendre le métal plus malléable. Elle est ensuite amincie et étirée par écrasements progressifs entre les cylindres d'une machine appelée "laminoir". La bande d'acier se transforme en bobines ou en plaques de 1,2 à 20 millimètres d'épaisseur. L'acier obtenu a alors une épaisseur 180 fois plus fine que celle de la brame de départ.[30]

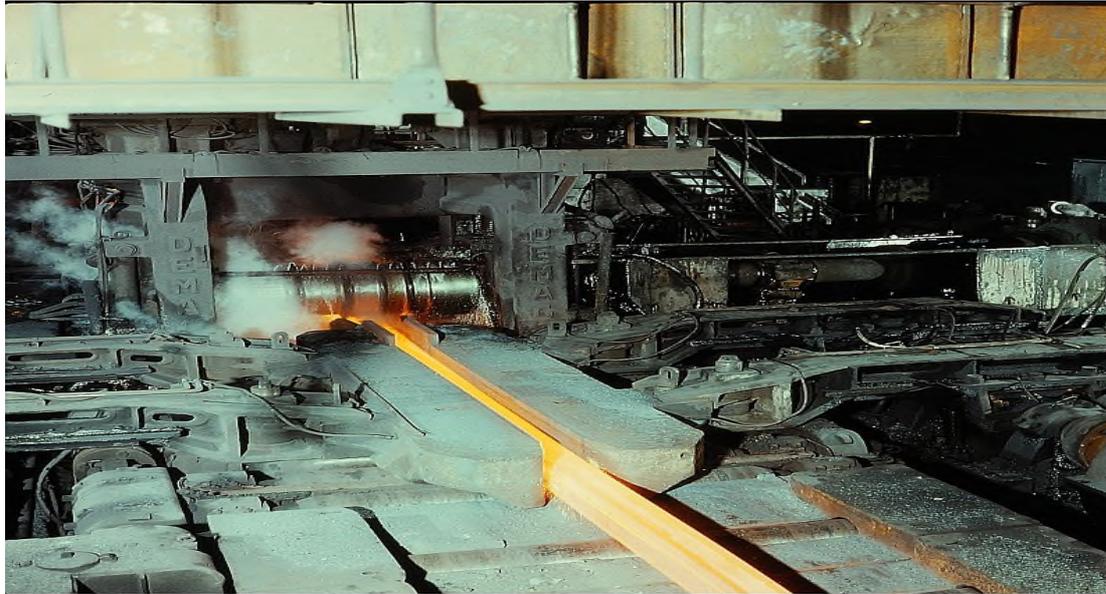


Figure N°11 : Laminoirs pour produire des poutrelles en acier [34]

B. Le laminage à froid

Les bobines subissent une deuxième réduction à froid afin d'obtenir un produit aussi fin qu'une feuille de papier (jusqu'à 0,1 millimètre d'épaisseur).[30]



Figure 12 :bobine de laminage à froid. [44]

C. Le revêtement

Les bobines sont ensuite recouvertes d'un revêtement anti-corrosion qui peut être en zinc (automobile ,électroménager) ou en étain (fer blanc pour les boîtes de conserve, canettes, aérosols). [30]

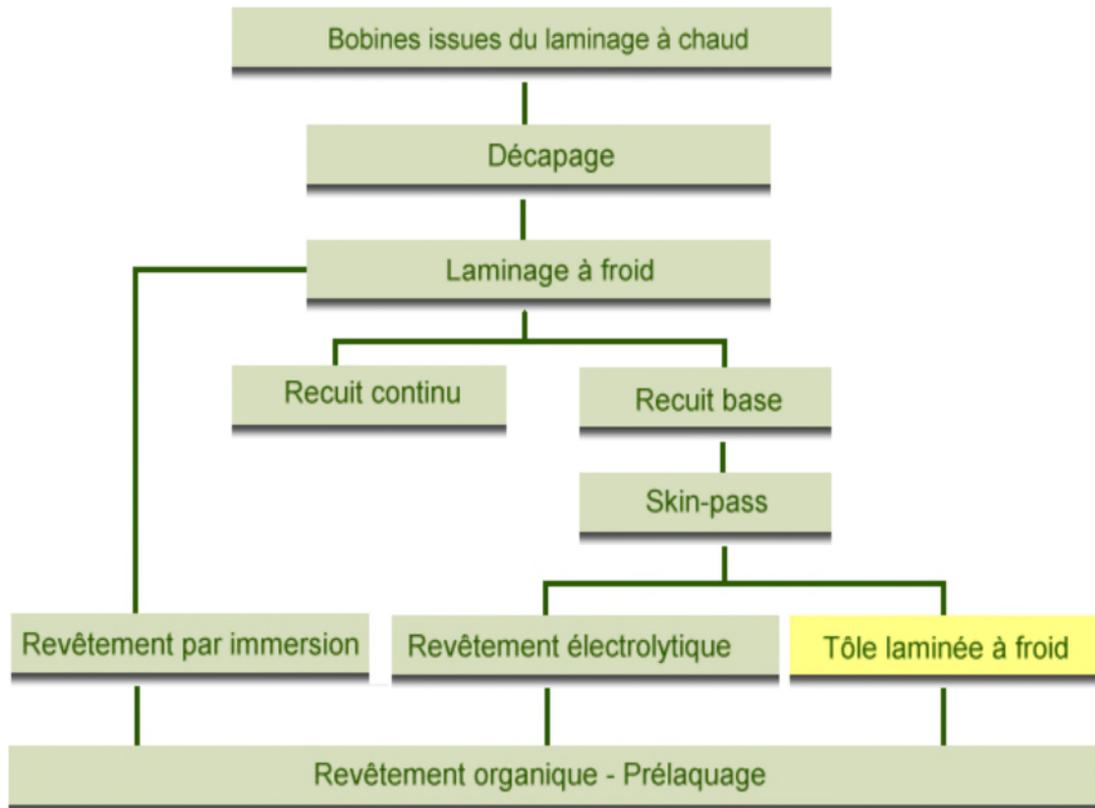


Figure N°13 : les étapes d'obtention d'un produit fini .[32]

II.6.Conclusion

Le fer est le métal le plus utilisé dans le monde et l'un des plus abondants sur terre. Le minerai de fer est majoritairement utilisé dans des hauts fourneaux pour la fabrication de l'acier ou de la fonte. Le prix du fer indiqué dans ce chapitre est tiré des statistiques de la Banque mondiale .

CHAPITRE III
METHODES ET MATERIELS

III.1. INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de présenter les matériels et les méthodes d'analyse utilisés dans cette étude, afin de caractériser et de traiter le minerai de fer de Gara Djebilet. En effet, la performance et la précision des résultats dépend de matériels et des méthodes utilisées.

III.2. Echantillonnage

La campagne d'échantillonnage a été effectuée au niveau du gisement par la méthode de tranchées, dont les prélèvements des échantillons se sont déroulés à différents points correspondant aux différentes zones et couches du gisement. Les points de prélèvement sont présentés à la figure et au tableau suivant :

Tableau N°05: Identification des échantillons de minerai de fer de gara Djebilet Ouest

N°	Echantillon	Cordonnées	
		X	Y
1	SP1/D2	647567,88	2957822,80
2	SP1/D3		
3	SP2/D2	647569,35	2957422,80
4	SP2/D3		
5	SP3/D2	647570,81	2957022,81
6	SP4/D2	647572,28	2956622,81
7	SP5/D2	647573,875	2956222,81

D'après la figure, nous remarquons que les points de prélèvement sont très proches mais, les échantillons, sont extraits dans des couches différentes, et le minerai qui se trouve dans cet endroit présente une variété de tenues et des éléments des constituants qui composent les roches de minerai.

III.3. Préparation mécanique

III.3. 1. Concassage

C'est un traitement mécanique qui sert à réduire les dimensions de la matière première à une granularité de l'ordre de quelques millimètres. On a utilisé un concasseur à

mâchoire de type FRITSCH qui est disponible au niveau de laboratoire de minéralurgie du département des mines et géologie.[36]

Le concassage ne permis pas de réduire les diamètres des grains de différents échantillons jusqu'à un diamètre inférieur à 1mm. Généralement la fragmentation par concassage est suivie par une opération de séchage et de broyage pour une préparation des échantillons aux différents analyses subséquentes telles que l'analyse granulométrique.

III.3.2. Séchage

Le but de séchage soit pour éliminer soit pour réduire l'humidité des échantillons par évaporation, et facilité l'opération de broyage et les autres étapes de préparation mécaniques des échantillons de minerai de fer de Gara Djebilet à l'état sec. L'étuve utilisée est de marque MEMMERT, elle est utilisée pour le séchage des échantillons concassés à $105^{\circ}\text{C} \pm 5$ pendant 24 heures [35].



Figure 14 : Concasseur à mâchoire type de laboratoire

III.3.3. 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 les échantillons de minerai de fer et le rendre homogène par transformation en quatre quarts égaux, dont on prélève deux quarts opposés les deux autres seront gardés comme témoins. C'est une opération de réduire le poids

de l'échantillon pour l'analyse. Ce procédé obéit à la loi de RECHARDSE donnée par la relation suivante [36] :

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

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.

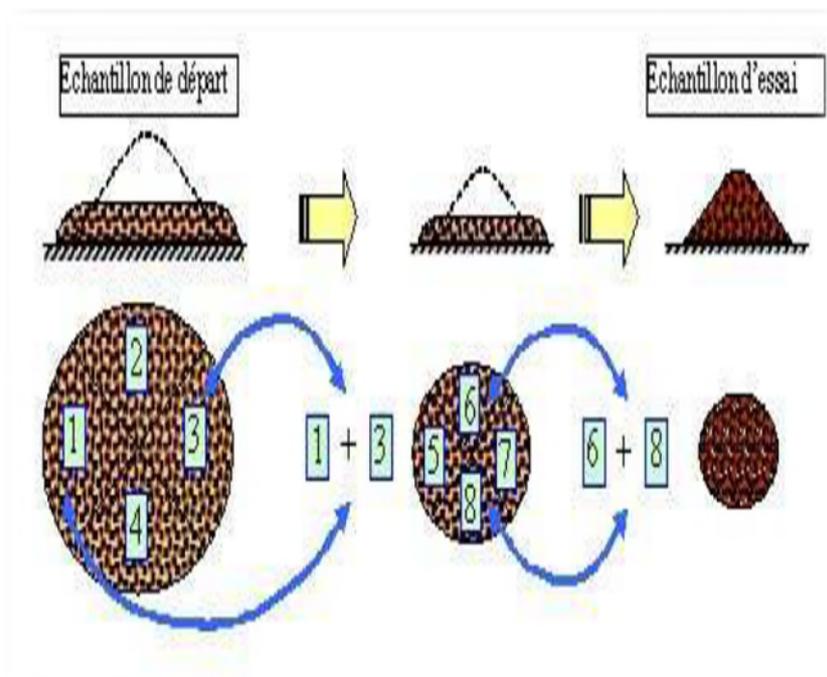


Figure 15 :Etapes de la réalisation de quartage.

III.3.4.Analyse granulométrique

C'est l'ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en utilisant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension, ce type d'analyse vise habituellement à évaluer dans quelle tranche granulométrique, le degré de libération est important.

Lors des essais de tamisage, la série des tamis sélectionnés de norme AFNOR (NF-ISO 3310-2) et empilée verticalement selon une taille des ouvertures de tamis qui décroît de haut en bas.

Pour la première manipulation chaque échantillon d'une masse de 01 kg est introduit sur une série de 14 tamis (2mm ; 1,6mm ;1,4mm ; 1,25mm ;1mm ; 0,9mm ; 0,71mm ; 0,5mm ; 0,355mm ; 0,250mm ; 0,200mm ; 0,180mm ; 0,125mm ; 0,080 et le fond de tamis).

La pile de tamis est soumise à un mouvement de secousse horizontale par une tamiseuse.



Figure 16 : Tamiseuse de laboratoire.

III.3.4.2. Facteurs caractéristiques

Le Facture de courbure et Facture d'uniformité sont données par les relation suivants :

- **Facture de courbure :**

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

- **Facture d'uniformité :**

$$C_u = D_{60} / D_{10}. [37]$$

III.3.5. Broyage

C'est une opération qui consiste à réduire les dimensions des grains de la matière à une dimension assez fine (l'état de poudre) de l'ordre de quelques micromètres . Cette opération est réalisée soit manuelle à l'aide d'un mortier traditionnel ,soit par un broyeur (planétaire à billes, à disque, etc....)[2]

Notre opération de broyage est réalisée par un broyeur planétaire à billes de type de laboratoire de marque FRITSCH.

Le broyage des échantillons destinés à l'étude pour la 2^{ème} expérience est réalisé manuellement à l'aide d'un mortier traditionnel dans le but de préparer des échantillon nécessaires pour chaque expérience à différents classes granulométriques (+1-2mm) et (+0,040-1mm) pour les analyses chimiques et minéralogiques.[3]

III.4. Méthodes de caractérisation

Ma prochaine étape dans la caractérisation consiste a déterminer la composition en oxyde et éléments du minerai de fer .pour attendre cette objectif une série de méthodes de caractérisation sont effectuées ,telle que :DRX ,FX, ATD/ATG ,a partir de cette étape je peux envisager une méthode de valorisation . [1],[3]

III.4.1. Caractérisation minéralogique par diffraction à rayon X

III.4.1.1. Définition de la DRX: C'est 'une méthode d'analyse minéralogique des matériaux cristallisés, elles' applique sur des poudres ou des échantillons massifs. Elle sert à la détermination de la nature des éléments des phases minérales et leurs quantifications. [36]

III.4.1.2.Principe de l'analyse

La diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde ($0,1 < \lambda < 10\text{nm}$) sur un échantillon orienté ou non. On utilise un rayonnement électromagnétique encuivre dont la longueur d'onde est $\text{Cu K}\alpha = 1,542 \text{ \AA}$. Ce rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phase vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

Si l'on calcule les directions dans lesquelles on a du signal, on s'aperçoit que l'on obtient une loi très simple : si l'on trace des plans imaginaires parallèles passant par les atomes, et si l'on appelle d la distance entre ces plans (ou distance interréculaire), alors les interférences sont constructives si :

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot (\sin\theta)$$

Où

θ est la moitié de la déviation,

n est un nombre entier appelé «ordre de diffraction»,

λ est la longueur d'onde des rayons X.

C'est la loi de Bragg

En effet, le chemin supplémentaire parcouru par le deuxième rayon est $2d \cdot \sin(\theta)$.

Les interférences sont constructives si la différence de chemin introduit un déphasage multiple de 2π , c'est-à-dire si le chemin supplémentaire est un multiple de λ . [43]

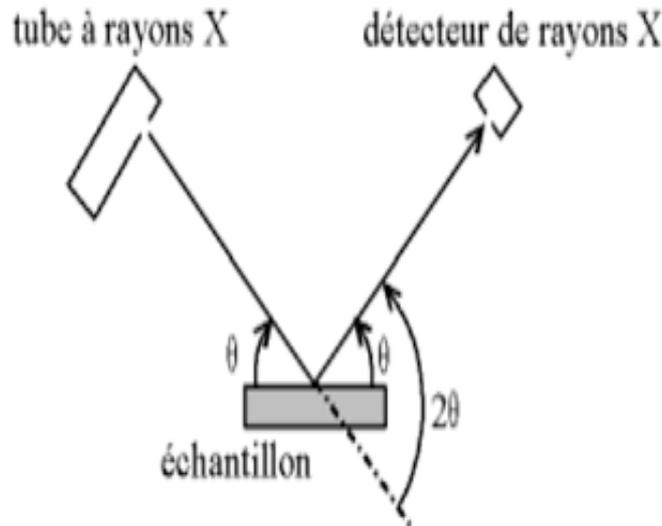


Figure 17 : Principe de l'analyse par DRX

III.4.2. Analyse chimique par fluorescence des rayons X

III.4.2.1. Définition : La spectrométrie de fluorescence X est une méthode d'analyse élémentaire, donc permet de déterminer les concentrations en éléments purs. Cependant, les éléments sont souvent présents sous la forme de composés (molécules, cristaux poly-atomiques) dans le matériau initial. Il peut donc être souhaitable de présenter des pourcentages de composés plutôt que d'éléments. On exprime par exemple souvent des concentrations en oxyde, en particulier en géochimie ou pour les ciments [38].

III.4.2.2. Principe de fonctionnement

Quand un matériau est soumis à un rayonnement de faible longueur d'onde et donc de forte énergie, comme les rayons X, les rayons gamma ou bien un faisceau d'électrons ou d'ions suffisamment accélérés, les atomes constituant le matériau peuvent subir une ionisation, c'est-à-dire qu'un ou plusieurs électrons peuvent être éjectés des couches électroniques (on parle aussi d'orbitales atomiques) de chacun de ces atomes.

Le rayonnement fluorescent peut donc être analysé de façon équivalente en énergie par le logiciel d'analyse, à partir des concentrations en éléments et des formules chimiques on parle d'analyse dispersive en énergie ou en longueur d'onde.

Le spectre du matériau analysé est l'intensité du rayonnement en fonction de l'énergie, généralement exprimée en électronvolts (eV) ou en longueur d'onde. C'est un outil puissant pour l'analyse chimique élémentaire, branche de la chimie analytique.[40].

Les analyses chimiques ont été réalisés au centre de recherches scientifique et en technique en analyse physico-chimiques (CRAPC Bou Ismail-Tipaza).

L'Équipement utilisé est un spectromètre de fluorescence des rayons X « ZSX Primus II de Rigaku » utilisé pour analysés les échantillons de minerai de fer de Gara Djebilet a L'état de poudre .

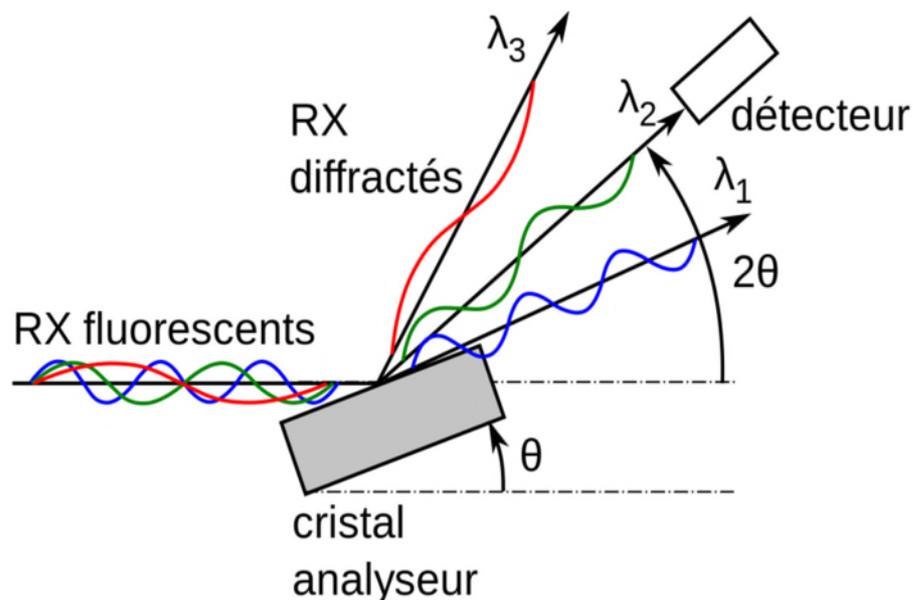


Figure 18: Principe de base de l'analyse par FX

III.4.3. Analyse thermogravimétrique ATD/ATG

III.4.3.1. Définition : Cette méthode a pour objectif de caractérisation des matériaux par mesure direct de leur masse en fonction de la température qui peut aller de 20 à 1000 C° en présence d'un gaz inerte (azote).

L'échantillon analysé est placé sur la nacelle d'une balance à précision cette nacelle en suite introduit dans un four permettant de se mettre l'échantillon à des cycles de températures tout en mesurant en continues l'évolution de leur masse [38].

Le teste de l'analyse ATD /ATG sur nos échantillons est effectué au niveau de laboratoire N°03 de bloc Génie chimique de l'université de Bejaia, l'analyse est réalisée sur le sous l'échantillons globale EG brut cette échantillon formé après le mélange entre les déférents échantillons existants et sa masse est précisée après une homogénéisation, et une série d'étape de quartage .

III.4.3.2Principe de fonctionnement

L'appareillage est constitué principalement d'un thermo balance connecté par un circuit électrique a une unité d'acquisition de données assistée par ordinateur qui permettre d'enregistre et de tracée les thermo grammes d'un échantillon solide préalablement broyé sous forme d'une poudre fine, ces courbes représentatives poids /température sont sous l'aspect de plusieurs paliers. [38]

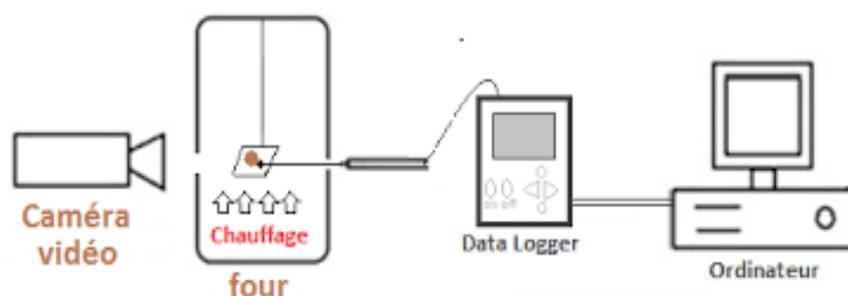


Figure 19 : Schéma du principe de fonctionnement de l'appareil de ATG

III.5. Enrichissement du minerai de Gara-Djebilet

L'essai de la séparation envisagé pour le minerai de fer oolithiques de Gara Djebilet est la séparation magnétique et le grillage magnétisant, utilisés dans le but d'obtenir un concentré riche en hématite ou la magnétite et la réduction des teneurs de phosphore (P), et cela avant et après un traitement thermique par grillage magnétisant.

III.5.1. Séparation magnétique

La séparation magnétique permet alors de séparer ces matériaux selon leur tendance à se magnétiser, elle exploite la susceptibilité magnétique des particules afin d'effectuer une séparation[3].. Elle est utilisée autant en industrie qu'en chimie et en biotechnologies.



Figure 20 :Séparateur magnétique de type de laboratoire

III.5.1.1. Principe: . Elle est basée sur la compétition entre les trois forces tractives magnétiques et les forces inter particulaires attractives. La susceptibilité magnétique est la propriété d'un matériau qui détermine son comportement dans un champ magnétique.[43]

Un séparateur produisant un champ magnétique faible sera apte à séparer les éléments ferromagnétiques de la matrice. Un séparateur produisant un champ magnétique fort sépare les matériaux diamagnétiques des autres matériaux à cause de sa capacité à attirer les éléments faiblement magnétiques.[41]

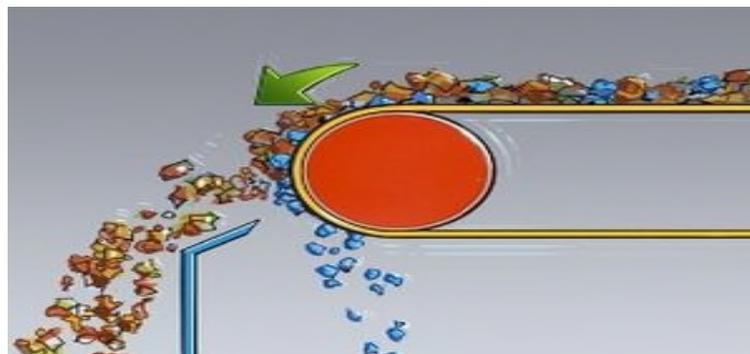


Figure 21 : Principe de base d'un séparateur magnétique a tombeur

Le séparateur magnétique utilisé est un séparateur magnétique à aimant permanent à tambour de diamètre de 220mm sur une longueur de 300mm. Sa zone magnétique est sur 180° et la vitesse de rotation est variable de 0 à 30 tour /min.

III.5.1.4. Essais de la séparation magnétique

Notre essai est basé sur la séparation et l'enrichissement du minerai de fer de Gara Djebilet avant et après un traitement thermique par grillage magnétisant .Pour les deux

premiers essais de séparation, l'appareil utilisé est un séparateur magnétique de type de laboratoire (voir figure12), dont les conditions opératoires sont : une vitesse de rotation de tombeur est fixée à de 22tours/minute et à une amplitude de vibration de l'alimentateur est de 45 Hz.

Les différents échantillons sont introduits soigneusement dans l'alimentateur du séparateur pour but d'avoir une couche homogène et mince et de déterminer leurs rendements de séparation pour chaque échantillon .Les produits de séparation (fraction magnétique et la fraction non magnétique) sont soumis à des analyse de caractérisation physico-chimiques.

Pour la première partie, les essais de séparation magnétique sont appliqués sur tous les échantillons bruts séchés de quantités d'environ de 280 g, soit : (SP1/D2, SP1/D3, SP2/D2, SP2/D3, SP3/D2, SP4/D2 et SP5/D2).

Pour la deuxième partie, les essais de la séparation magnétique sont réalisés après un grillage magnétisant sur des quantités de 200g à différents intervalles de températures pour les échantillons suivants : (SP1/D2, SP1/D3, SP2/D2, SP2/D3 et EG).

EG est un échantillon formée après le mélange des quantités de 200 g de chaque échantillons après l'opération d'homogénéisation et des séries successives de quartage pour les 7 échantillons existants .

Pour évaluer la qualité des produits de séparation, il est nécessaire de calculer les indices technologiques suivants :

Q :débits

γ_c et γ_r :Le rendement de concentré et de rejet.

$$\gamma_c = (\alpha - r) / (\beta - r) \cdot 100 \quad \text{et} \quad \gamma_r = (\beta - \alpha) / (\beta - r) \cdot 100$$

$$\gamma_c = (Q_c / Q) \cdot 100 \quad \text{et} \quad \gamma_r = (Q_r / Q) \cdot 100$$

$$Q = Q_c + Q_r = 100\% \quad \text{et} \quad \gamma = \gamma_c + \gamma_r = 100\%$$

Avec : α : teneur en élément utile dans le brut .

β : teneur en élément utile dans le concentré .

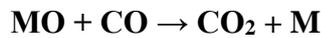
r : teneur en élément utile dans le rejet[41]

III.5.2. Grillage magnétisant

III.5.2.1. Définition : Le grillage est un traitement thermique à des températures supérieures à 500°C appliqué sur des minéraux métalliques au contact de l'air de façon à les oxyder, soit pour rendre l'élément plus friables, soit pour dégager par volatilisation des matières étrangères, donc le grillage permet de :

- Désulfurer presque totalement le minerai par formation des oxydes ;
- Réduire certains oxydes (MnO₂ en MnO) ;
- Décomposer certains sels (FeAsS)[42]

Le traitement thermique de minerai de fer oolithique de Gara Djebilet qui consiste à réduire l'oxyde pour obtenir du fer métallique selon la réaction générale :



Soit pour le fer

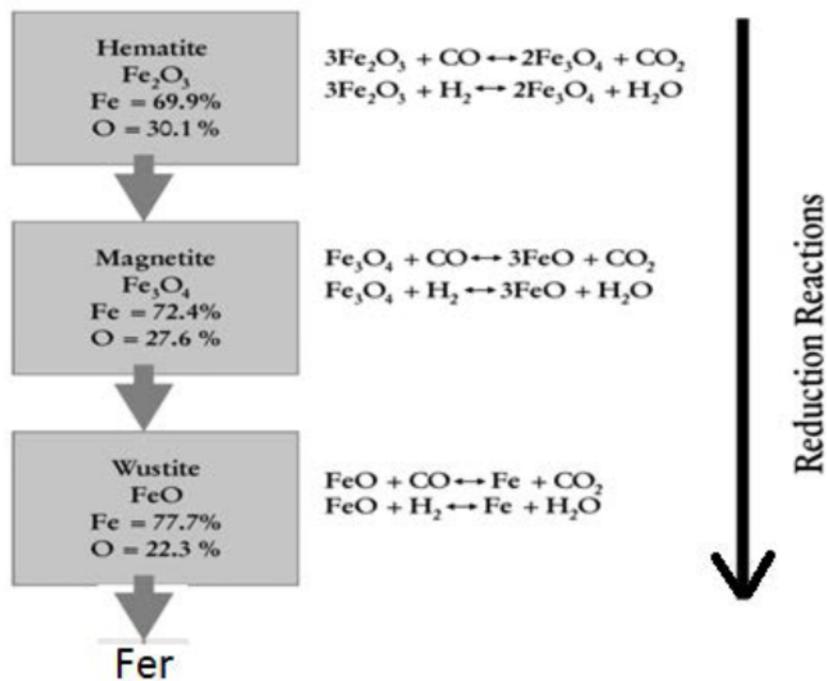


Figure 22 : Les réactions de réduction des oxydes de fer [39]

La particularité de grillage suroxydant est qu'il n'est pas destiné à évacuer des éléments sous forme gazeuses.



Figure 23: Four utilisé pour le grillage magnétisant.

III.6. Préparation des échantillons

La quantité nécessaire pour les essais de séparation magnétique et le grillage magnétisant est de 1,5 Kg par échantillon (SP1/D2, SP1/D3, SP2/D2, SP2/D3, et un échantillon global : EG). Chaque échantillon est divisé en 05 sous échantillons de 250g en masse, correspondent à chaque température de grillage, donc 25 sous échantillons au total.

III.6.1. Charbon naturel (Coke)

Une quantité de 500g de charbon naturel (coke) à utiliser comme combustible est concassée à l'aide de concasseur laboratoire à moins 1mm, et broyée manuellement à l'aide d'un mortier jusqu'à une taille $< 0,71\text{mm}$.



Figure 24 : Charbon naturel(coke) utilisé.

III.6.2.Préparation de mélange (Minerai +Coke).

Le charbon préparé (coke) et mélangé avec les sous échantillons de minerai de fer par une proportion de 5% en masse de chaque sous échantillon soit 250g de minerai est mélangé avec 12,5 g de charbon naturel (coke).

III.6.3.Grillage magnétisant

Pour chaque échantillon, le mélange est placé dans cinq creusets inoxydables recouverts de couvercles en inox afin de protéger l'échantillon de la ré-oxydation et chauffé respectivement à 500°C, 600°C, 700°C, 800°C et 900°C pendant 30 minutes. Cette manipulation s'applique sur les 25 sous échantillons. Une fois le temps de grillage est écoulé, les creusets sont refroidis à la température ambiante .

III.7. Conclusion

Avant de procéder à une analyse quelconque d'un minerai solide il est nécessaire de préparer l'échantillon et lui faisons un traitement mécanique qui est la phase la plus délicate pour la représentativité des échantillons destinés à l'analyse.

Les méthodes d'analyse présentés dans ce chapitre ont pour but de :

- Déterminer la composition minéralogique de minerai de fer étudié par DRX.
- Obtenir les concentrations des éléments utiles et nuisible inclus dans ce minerai.
- Appliqué des procédés d'enrichissement pour l'obtention d'un concentré riche en fer et éliminer les éléments nuisibles (Phosphore) dans le minerai de fer de Gara Djebilet.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Introduction

Dans ce qui suit nous présenterons les résultats de caractérisation minéralogique par DRX et chimiques par FX ainsi que les résultats quantitatifs (rendements massiques) des produits de séparation magnétique sans détermination qualitative (teneurs des éléments).

La plupart des résultats d'analyse granulométrique et de séparation magnétique sont présentés à l'annexe .

IV.2.Résultats de caractérisations .

IV.2.1.Distribution granulométrique (échantillons bruts) : Les résultats d'analyse granulométrique par tamisage des échantillons sont présentés au tableau N°4 et sous forme de courbe granulométrique (figure 13) pour l'échantillon(SP1/D3) et pour le reste des échantillons, les distributions granulométriques sont montrées à l'Annexe N°I.

Tableau N°06 : Exemple de Résultat de la distribution granulométrique (SP1/D3)

Ouverture Des tamis (mm)	Ouverture moyen Des tamis (mm)	Masse (g)	% massique %	Passant %	Refus %
2	1,8	435,2	48,51	51,49	48,51
1,6	1,5	53,7	5,99	45,5	54,5
1,4	1,325	26	2,9	42,6	57,4
1,25	1,125	16,3	1,82	40,78	59,22
1	0,95	48	5,35	35,43	64,57
0,9	0,805	11,8	1,31	34,12	65,88
0,71	0,605	40,2	4,48	29,64	70,36
0,5	0,4275	43,5	4,85	24,79	75,21
0,355	0,3025	33,5	3,73	21,06	78,94
0,25	0,225	36,1	4,02	17,04	82,96
0,2	0,19	25,3	2,82	14,22	85,78
0,18	0,1525	9,9	1,1	13,12	86,78
0,125	0,1025	7,2	0,8	12,32	87,68
0,08	0,08	58,2	6,49	5,83	94,17
0,04	0,04	52,2	5,82	0	100%
Totale		897,1	100%		

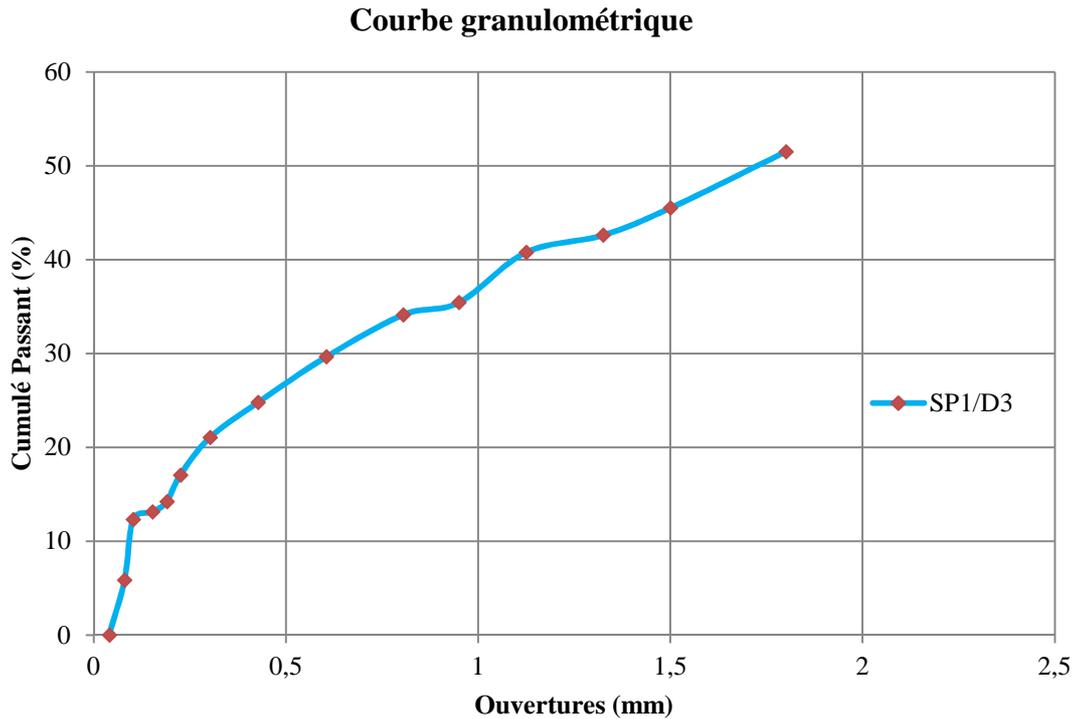


Figure 25 : Exemple de courbe granulométrique de l'échantillon SP1/D3

Il est constaté par l'allure des courbes que la distribution des échantillons est très étalée due à une mauvaise préparation mécanique par effet de la dureté du minerai d'une part et le choix des tamis de la série utilisée non normalisée AFNOR (NF-ISO 3310-2).

IV.2.2. Caractérisation minéralogique par (DRX)

Les résultats d'analyse minéralogique par DRX pour les différents échantillons bruts (SP1/D2, SP1/D3, SP2/D2, SP2/D3, SP3/D2, SP4/D2, SP5/D2) sont montrés par les diffractogrammes suivants :

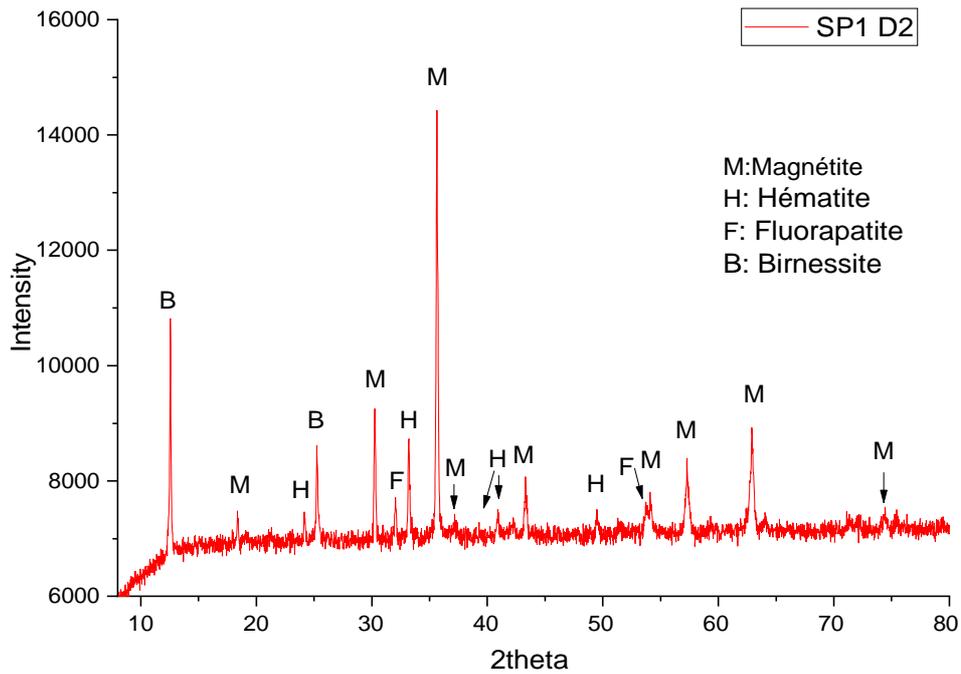


Figure 26 :Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP1/D2 brut

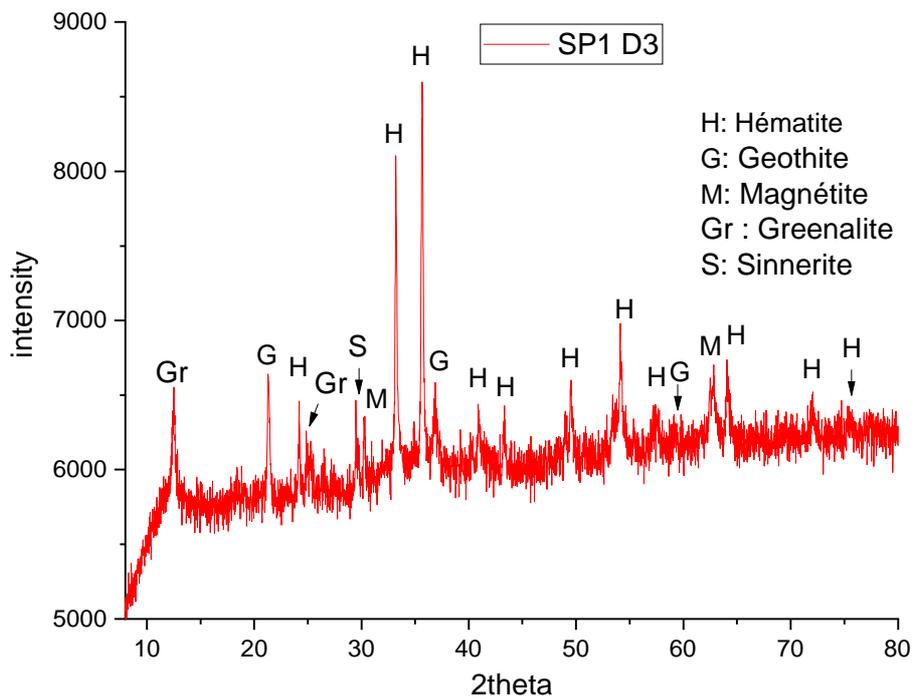


Figure 27 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP1/D3

Figure 28 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP2/D2

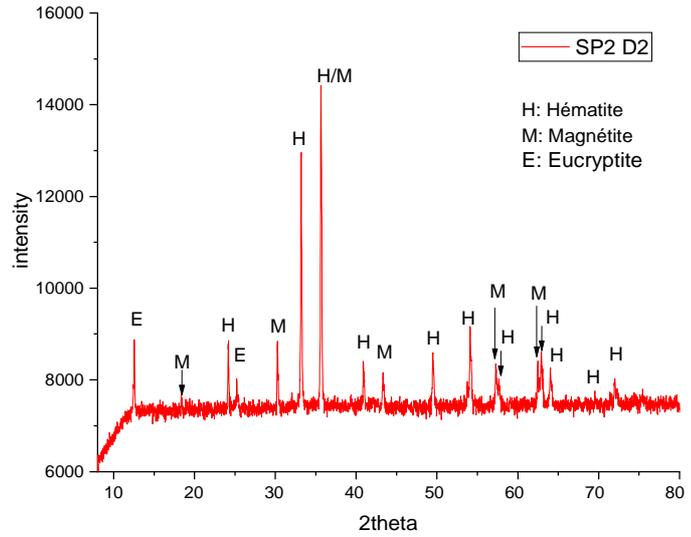


Figure 29 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP2/D3

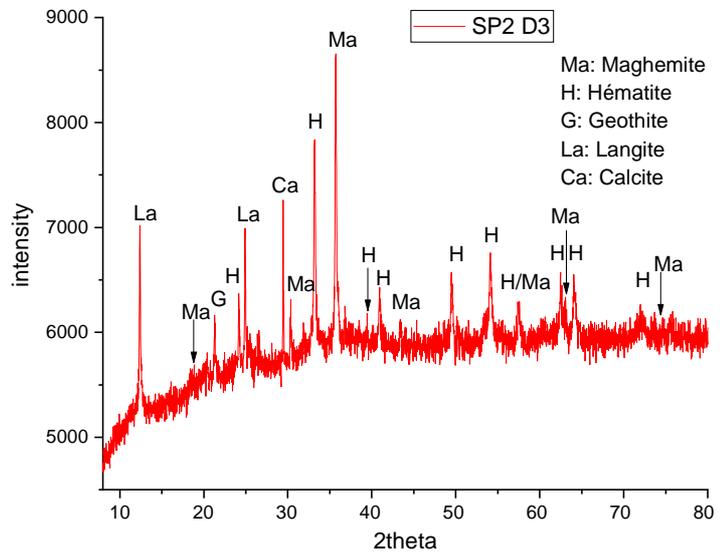


Figure 30: Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP3/D2

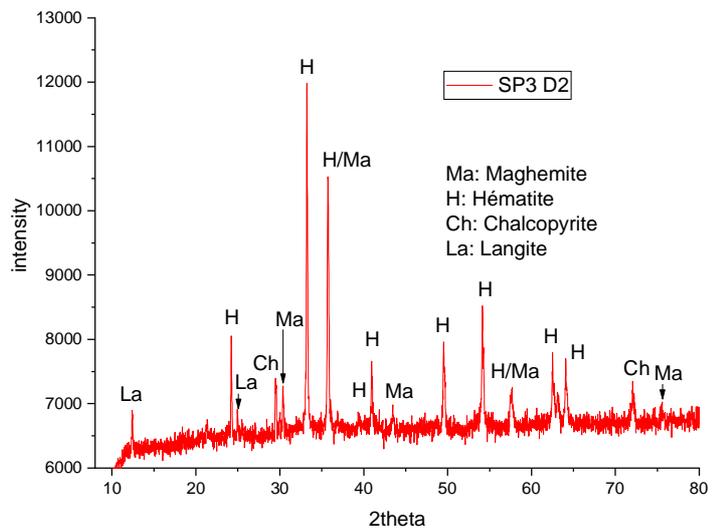


Figure 31 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP4/D2

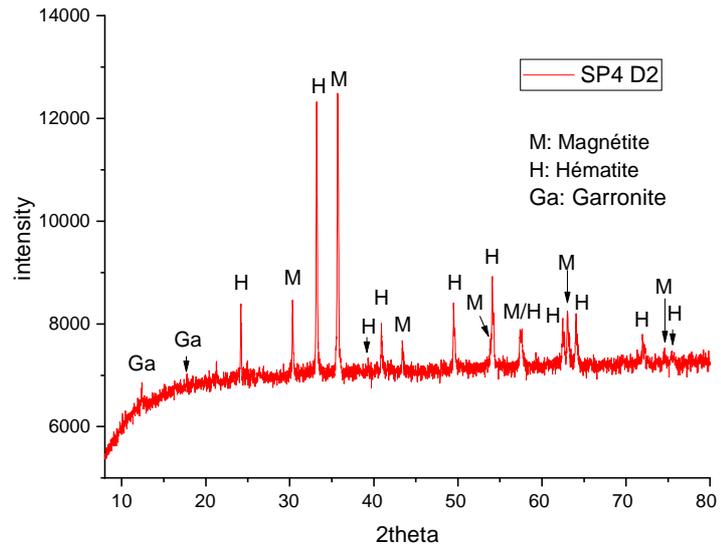
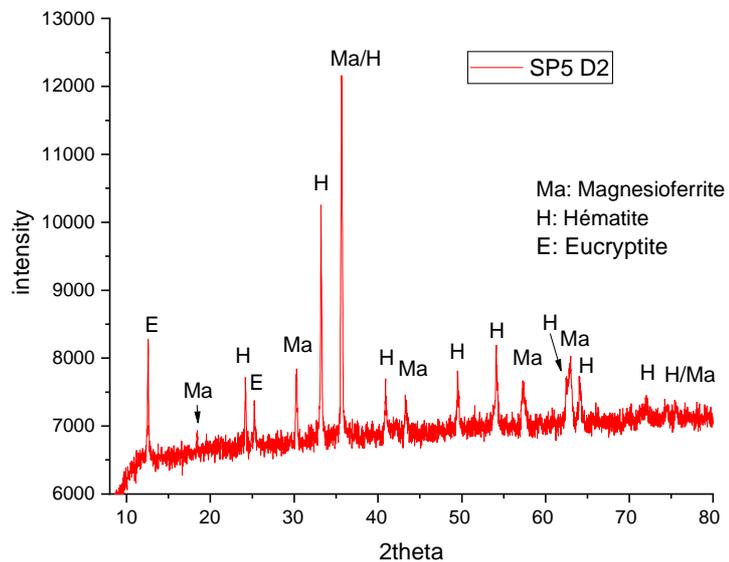


Figure 32 : Diffractogramme par rayon X de l'échantillon SP5/D2



Les diffractogrammes présentés par les figures (15 à 21) ci-dessus mettent en évidence la présence importante des phases ferrifères dans tous les échantillons analysés à savoir : le l'Hématite et la Magnétite. La présence de l'hématite est remarquée dans tous les échantillons alors que la magnétite est présente aussi sous forme altérée comme Maghemite, en proportions variables, cela est due à la nature différente des couches du gisement.

La Goethite, et la pyrite des minéraux porteurs de fer sont observés dans quelques échantillons (SP2D2, SP1D3 et SP3 D2). Des minéraux non ferrifères importants sont révélés tels que l'apatite, calcite et Langite.

Pour les autres phases minéralogiques présentes varient d'un échantillon à l'autre (Fluorapatite, birnessite, greenalite, Sinnerite (source d'arsenic), Eucryptite (source de lithium) et Garronite)

IV.2.2. Caractérisation chimique par (FX)

L'ensemble des résultats d'analyse chimique par FX de différents échantillons bruts est présenté au tableau à l'annexe N°II.

D'après les résultats obtenus, il est remarqué que les échantillons sont riches en oxydes de fer (Fe_2O_3) ce qui confirme la nature ferrifère du minerai, révélés par les résultats d'analyse par DRX. La présence de phosphore (P) dans tous les échantillons à des teneurs élevées pour un minerai de fer, due principalement aux minéraux d'apatite et fluorapatite. Les autres éléments présents en faibles teneurs (As, Li, Si, Al, Ca, etc.) sont d'origine des minéraux secondaires tels que (Sinnerite, Eucryptite, les silicates et la calcite).

Tableau N °07:Résultats d'analyse chimiques des échantillons bruts du minerai Gara Djebilet

Échantillons	Teneur (%)			
	Fe_2O_3	Fe	P_2O_5	P
SP1/D2	63.8687	44.6719	0,7785%	0.3398
SP1/D3	57.0456	39.8996	1,5801%	0.6896
SP2/D2	74.2493	51.9324	1,0172	0.4439
SP2/D3	46.2096	32.3205	1,0139	0.4425
SP3/D2	61.7083	43.1608	1,8643	0.8136
SP4/D2	70.2277	49.1196	1,3767	0.6008
SP5/D2	71.0967	49.7274	1 ,0141	0.4426

IV. 3.Résultats de la séparation magnétique

IV.3.1.Résultats de la séparation magnétique (échantillons bruts)

Un bon rendement de récupération de la fraction magnétique est constaté pour les échantillons (SP1/D2 et SP2/D2) qui sont très riches en phases ferromagnétiques (Magnétite) identifiée par les diffractogrammes de DRX. Leurs rendements massiques au concentré (FM) est de 68%, alors que l'échantillon SP1/D3 à uniquement 19,1% du produit magnétique à été récupéré, qui est pauvre en magnétite mais très riche en hématite de caractère paramagnétique faible voir diamagnétique ce qui nécessite son activation par un grillage magnétisant pour pouvoir la séparer. Pour les autres échantillons, le rendement massique reste moyen vu leur composition minéralogique variable (mélange des minéraux magnétique et non magnétique).

Les résultats de la séparation magnétique des échantillons du minerai de fer bruts, sont présentés au tableau et la figure suivants :

Tableau N°08 : Résultats de la séparation magnétique pour les échantillons bruts

Echantillon	Masses (g)			Rendement massique (%)	
	Alimentation	FM	FNM	γ_c	Γ_r
SP1/D2	280	190 ,4	89,6	68	32
SP1/D3	280	52	220,7	19,1	80,9
SP2/D2	280	190,4	89.6	68	32
SP2/D3	280	145,1	131,9	52,38	47,62
EG	280	168	112	60	40

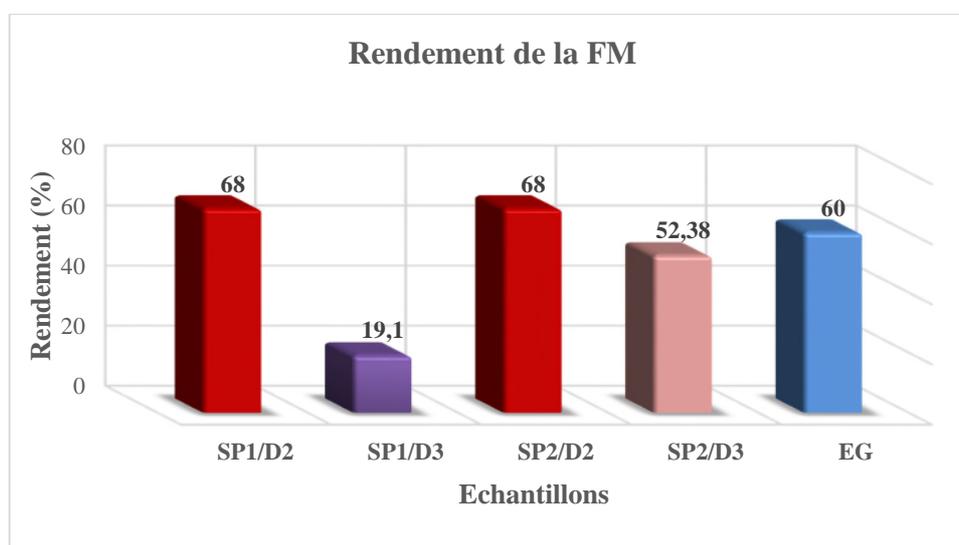


Figure 33 : Rendement de la fraction magnétique (FM) par échantillon

IV.3.2. Résultats de traitement thermique par grillage magnétisant

Les échantillons traités thermiquement par grillage à différentes températures, sont déjà soumis à la séparation magnétique à basse intensité.

Les constatations visuelles des produits de grillage sont : changement de la couleur des échantillons par effet de réduction et la réduction de la masse due à l'évaporation des eaux, combustion des composés organique et leur volatilisation, et transformation de certaines phases minéralogiques. Pour une caractérisation des produits du procédé de grillage des sous échantillons sont prélevés et préparés pour des analyses minéralogiques par DRX et chimiques par FX, mais les résultats ne sont pas délivrés à ce jour.

IV.3.3. Résultats de la séparation magnétique après le grillage magnétisant : Pour chaque échantillon, les résultats de la séparation magnétique après grillage magnétisant aux différents intervalles de température (500°C, 600°C, 700°C, 800°C et 900°C) respectivement est présentés dans les tableaux suivants :

Tableau N°09 : Résultats de séparation magnétique après le grillage magnétisant.

Sous échantillons	T° de grillage (°C)	Masses (g)			γ_c	Γ_r
		Alimentation	FM	FNM		
(SP1/D2) ₁	500	241	180	61	74.69	25.31
(SP1/D2) ₂	600	239	190	49	79.49	20.51
(SP1/D2) ₃	700	235	205	30	87.23	12.77
(SP1/D2) ₄	800	212,9	203	9,9	95.53	4.47
(SP1/D2) ₅	900	180	178	2	98.88	1.12

Sous échantillons	T° de grillage (°C)	Masses (g)			γ_c	Γ_r
		Alimentation	FM	FNM		
(SP1/D3) ₁	500	245	165	80	67.34	32.66
(SP1/D3) ₂	600	247	175	72	70.85	29.15
(SP1/D3) ₃	700	238	190	48	73.59	26.41
(SP1/D3) ₄	800	100,9	44,3	66,6	43.90	56.10
(SP1/D3) ₅	900	100	55	45	55	45

Sous échantillons	T° de grillage (°C)	Masses (g)			γ_c	Γ_r
		Alimentation	FM	FNM		
(SP2/D2) ₁	500	248	178	70	71.77	28.22
(SP2/D2) ₂	600	246	185	61	75.20	24.79
(SP2/D2) ₃	700	240	201	39	83.75	16.25
(SP2/D2) ₄	800	133,45	121,22	12,25	90.83	9.16
(SP2/D2) ₅	900	235	225	10	95.75	4.25

Sous échantillons	T° de grillage (°C)	Masses (g)			γ_c	γ_r
		Alimentation	FM	FNM		
(SP2/D3) ₁	500	200	140	60	70	30
(SP2/D3) ₂	600	210	160	50	76.19	23.81
(SP2/D3) ₃	700	210	172	38	81.90	18.10
(SP2/D3) ₄	800	193,30	171,1	22,20	88.52	11.48
(SP2/D3) ₅	900	190	175	15	92.10	7.90

Sous échantillons	T° de grillage (°C)	Masses (g)			γ_c	Gr
		Alimentation	FM	FNM		
EG ₁	500	190	135	55	71.05	28.94
EG ₂	600	190	151	39	79.48	20.52
EG ₃	700	190	163	27	85.78	14.21
EG ₄	800	190	181,2	8,8	95.89	4.11
EG ₅	900	188	184	4	98.87	2.12

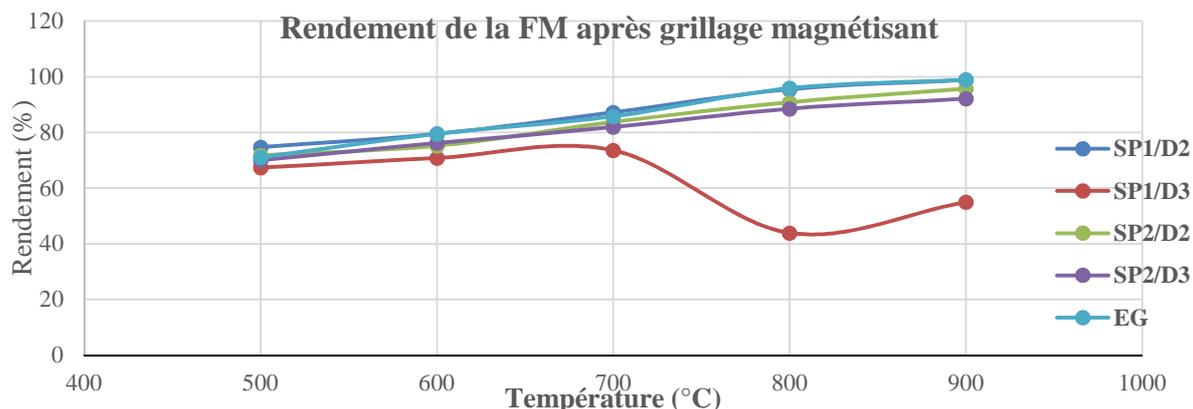


Figure 34 : Rendement massique de la fraction magnétique en fonction de la T° de grillage

Globalement tous les échantillons qui ont subi un traitement thermique par grillage magnétisant, leur séparation magnétique a été facile, dont leurs rendements massiques dépassent largement les rendements massiques enregistrés à la séparation magnétique avant le grillage magnétisant, à l'exception de l'échantillon SP1/D3, qui a marqué une baisse de rendement de la fraction magnétique à 43,90%, probablement cela est due à la réoxydation de l'échantillon au cours de l'opération du grillage et sa réduction n'a commencer qu'aux températures supérieures à 700°C.

L'échantillon SP2/D2 riche en hématite a été réduit en magnétite ce qui a permis une récupération meilleure par le séparateur magnétique à basse intensité. Le reste des échantillons ont acquis une susceptibilité magnétique par effet de grillage, aboutie à l'amélioration de la fraction magnétique récupérée (rendement atteint jusqu'à 98%).

La qualité des produits de séparation reste à déterminer pour savoir le taux de fer récupéré et la teneur de l'élément pénalisant (Phosphore).

IV.4.Conclusion

L'application de la séparation magnétique à basse intensité est efficace pour la récupération de la fraction ferrifère du minerai de Gara Djebilet, mais la qualité des concentrés est insuffisante tan-que le phosphore n'est pas éliminer.

L'opération du grillage magnétisant à permis aux échantillons riches en hématite d'être réduit en magnétite, ce qui à facilite sont extraction par la séparation magnétique.

La qualité des produits du grillage et de séparation magnétique, doivent être déterminer pour évaluer la performance du procédé de séparation magnétique.

Plusieurs échantillons ont été préparés pour différentes analyses de caractérisation et de séparation, mais ils ne sont pas tous utilisés, par de manque des moyens d'analyse et du caractérisation

Les autres essais prévus à réaliser de ce travail, resterons des perspectives et des recommandations pour des futures travaux de cette thématique.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le gisement de Gara Djebilet est l'un des plus grands réserves au monde avec une estimation de près de 3 milliards de tonnes en minerai de fer oolithique , alors Le projet d'exploitation de gisement de fer de Gara Djebilet contribuera a désenclaver le sud du pays ,et participera de manière considérable a la résorption du chômage a travers la création de plusieurs emplois et d'assurer une bonne occupation du territoire d'un coté ,et il entrainera un grand développement de l'industrie de fer et de la sidérurgies et de secteur des PME-PMI dans un autre coté .

La longueur de la distance pour l'évacuation de minerai extrait ver le nord du pays peut être réduite par le transport ferroviaire .Lorsque la ligne qui va de Béchar vers la Macta existe. Toutefois, cette ligne n'est pas complètement adaptée au transport du minerai de fer de Gara Djebilet (20 a 10mt/an). Des ajustements techniques doivent être réalisés afin de l'adapter au transport du minerai de fer de Gara Djebilet.

L'élimination de phosphore par les procédés chimiques (lixiviation, flottation) est impossible en raison des problèmes de la pollution et les couts des réactifs et d'investissement ,des procédés physiques ont été proposés pour la déphosphoration de minerai de fer par le traitement thermique (grillage magnétisant) et magnétique (séparation magnétique)

Le grillage magnétisant un procédée ,qu'il n'est pas destiné à évacuer des éléments sous forme gazeuses, mais pour un but essentielle qui est , la fracturation des surfaces des particules par l'effet de la température et facilité l'élimination de phosphore par les autres procédé d'enrichissement (la séparation magnétique).

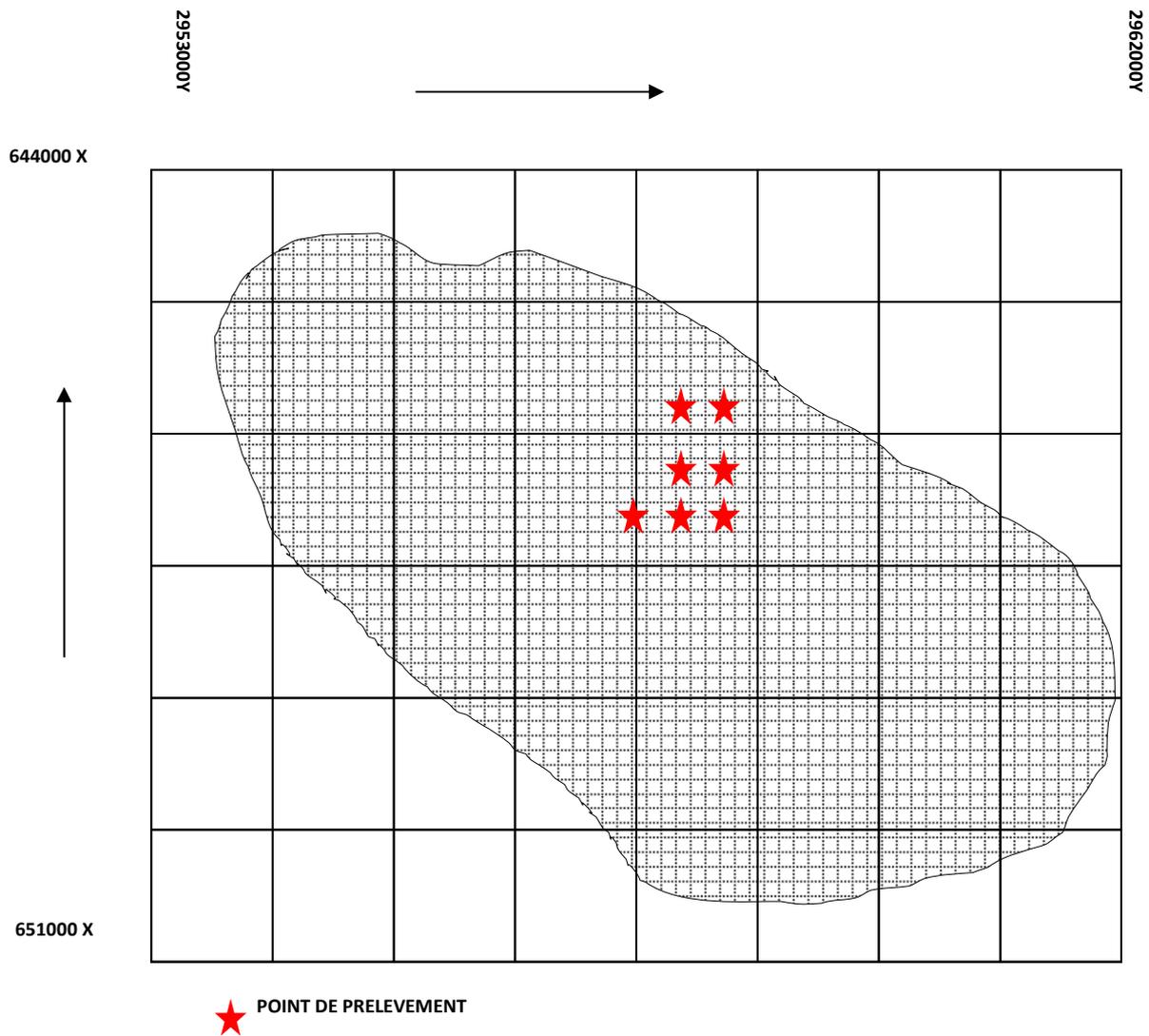
Les factures essentielles pour ajusté un bon déroulement de procédé de la déphosphoration et l'oxydation de minerais de fer de Gara Djebilet est :

- _ la quantité de combustible a ajouté ,
- _ la température et le temps de torréfaction a appliqué

ANNEXES

ANNEXES :I

Les endroits de prélèvement des échantillons



Remarque

D'après la figure on remarques que les lieux de prélèvements sont très proches mais ce qu'est nous intéresses : les couches de prélèvement et les impuretés est différents d'un échantillon a l'autre .

ANNEXES

ANNEXES : II

1. Résultats de l'analyse granulométrique

Tableau 01 : Résultats de l'analyse granulométrique pour l'échantillon (SP1/D2).

Diamètre	Diamètre moyen	Masse	%massique	Refus Cumulé
(mm)	(mm)	(g)	%	%
2	1,8	507,7	62,48	37,2
1,6	1,5	42,6	5,24	31,96
1,4	1,325	22,1	2,72	29,24
1,25	1,125	39,8	4,88	24,36
1	0,95	9,2	1,13	23,23
0,90	0,805	8,8	1,08	22,15
0,71	0,605	1,1	0,14	22,01
0,50	0,4275	30,7	3,78	18,23
0,355	0,3025	23,5	2,89	15,34
0,250	0,225	35,8	4,40	10,94
0,200	0,19	11,6	1,43	9,51
0,180	0,1525	14	1,72	7,79
0,125	0,1025	19,3	2,38	5,41
0,080	0,080	35,3	3,34	1,36
(<0,080)	0,040	11,1	1,36	0
Totale		812,6	100%	

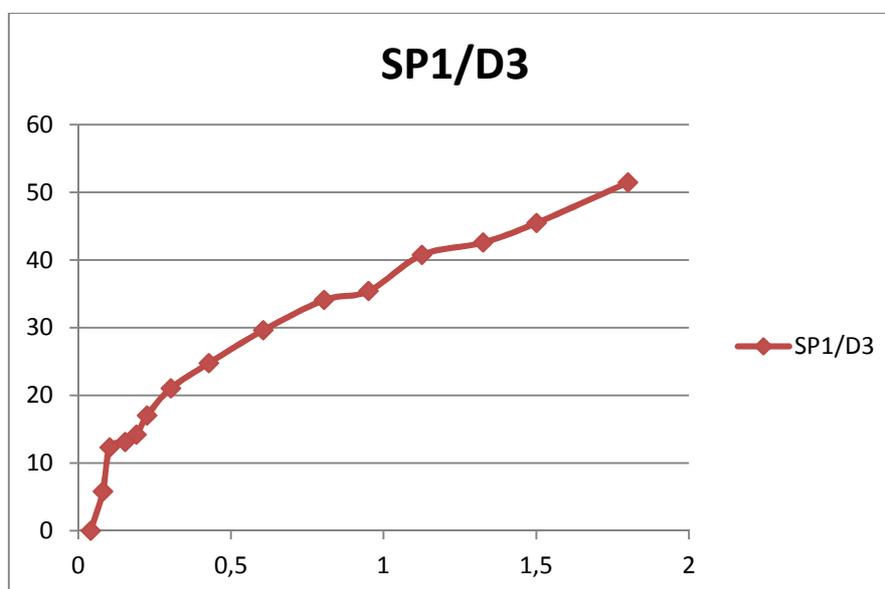


Figure01 : Courbe d'analyse granulométrique pour l'échantillon SP1/D3.

ANNEXES

ANNEXES : II

Tableau N°02 : Résultats de l'analyse granulométrique pour l'échantillon (SP1/D3)

Diamètre	Diamètre moyen	Masse	%massique	Refus Cumulé
(mm)	(mm)	(g)	%	%
2	1,8	435,2	48,51	51,49
1,6	1,5	53,7	5,99	45,5
1,4	1,325	26	2,9	42,6
1,25	1,125	16,3	1,82	40,78
1	0,95	48	5,35	35,43
0,90	0,805	11,8	1,31	34,12
0,71	0,605	40,2	4,48	29,64
0,50	0,4275	43,5	4,85	24,79
0,355	0,3025	33,5	3,73	21,06
0,250	0,225	36,1	4,02	17,04
0,200	0,19	25,3	2,82	14,22
0,180	0,1525	9,9	1,1	13,12
0,125	0,1025	7,2	0,8	12,32
0,080	0,080	58,2	6,49	5,83
0,040	0,04	52,2	5,82	0
Totale		897,1	100%	

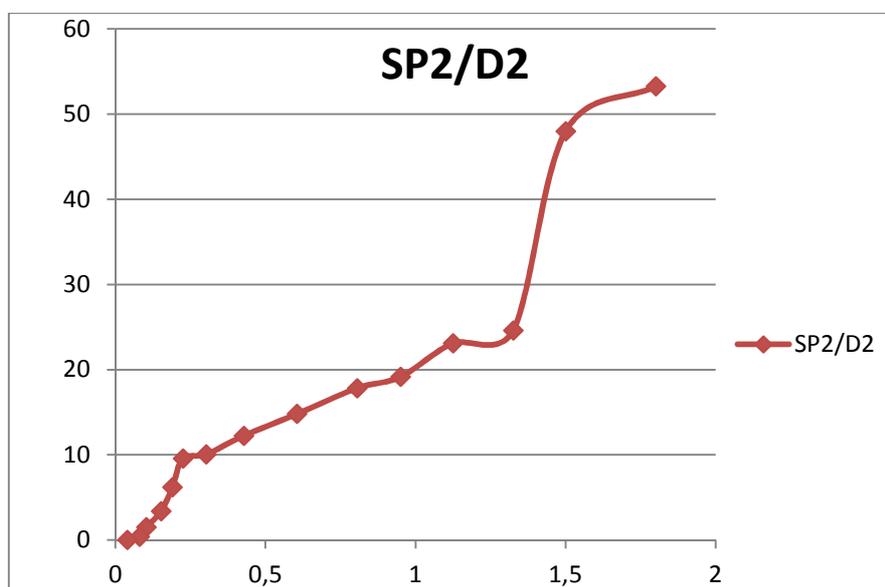


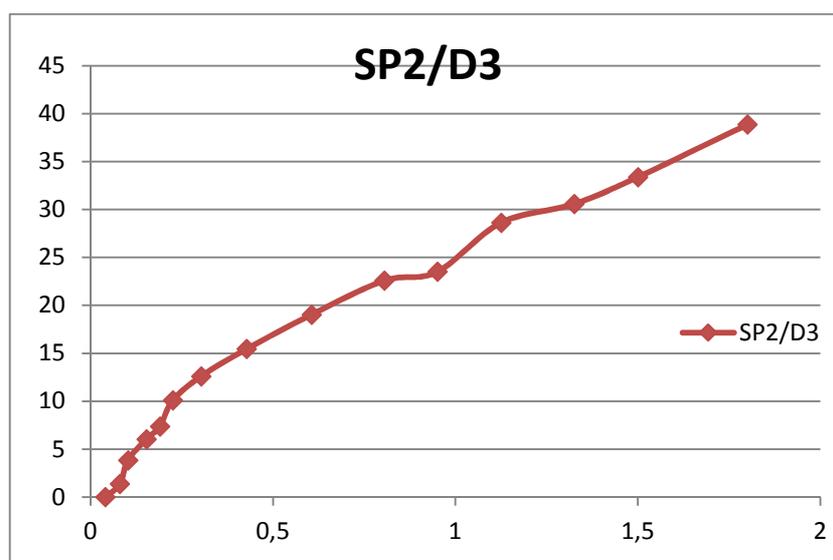
Figure02 : Courbe d'analyse granulométrique pour l'échantillon SP2/D2

ANNEXES

ANNEXES : II

Tableau N°03 : Résultats de l'analyse granulométrique pour l'échantillon (SP2/D2).

Diamètre	Diamètre moyen	Masse	%massique	Refus Cumulé
(mm)	(mm)	(g)	%	%
2	1,8	490,9	46.74	53.26
1,6	1,5	55,4	5.27	47.99
1,25	1,325	246	23.39	24.6
1	1,125	15,7	1.49	23.11
0,8	0,95	41,1	3.95	19.16
0,63	0,805	14	1.33	17.83
0,5	0,605	31,7	3.18	14.812
0,4	0,4275	27,1	2.58	12.232
0,315	0,3025	22,7	2.16	10.072
0,25	0,225	5,5	0.52	9.552
0,2	0,19	35,4	3.37	6.182
0,16	0,1525	29 ;2	2.78	3.402
0,16	0,1025	19,7	1.87	1.50
0,125	0,08	11 ,6	1.10	0.40
0,1	0,04	4,2	0.40	0
Totale		1050.2		



Figure=03: Courbe d'analyse granulométrique pour l'échantillon SP2/D3

ANNEXES

ANNEXES : II

Tableau N°4 : Résultats de l'analyse granulométrique pour l'échantillon (SP2/D3).

Diamètre (mm)	Diamètre moyen (mm)	Masse (g)	% massique %	Refus Cumulé %
2	1,8	520,8	61,15	38,85
1,6	1,5	46,6	5,47	33,38
1,4	1,325	23,93	2,81	30,57
1,25	1,125	16,6	1,95	28,62
1	0,95	43,6	5,12	23,5
0,90	0,805	8,8	0,92	22,58
0,71	0,605	30,3	3,56	19,02
0,50	0,4275	30,4	3,57	15,45
0,355	0,3025	24,4	2,86	12,59
0,250	0,225	21,4	2,51	10,08
0,200	0,19	23,2	2,72	7,36
0,180	0,1525	11,3	1,33	6,03
0,125	0,1025	18,7	2,19	3,84
0,080	0,080	20,1	2,36	1,36
Fond(<0,08)	0,04	11,6	1,36	0
Totale		851,73	100%	

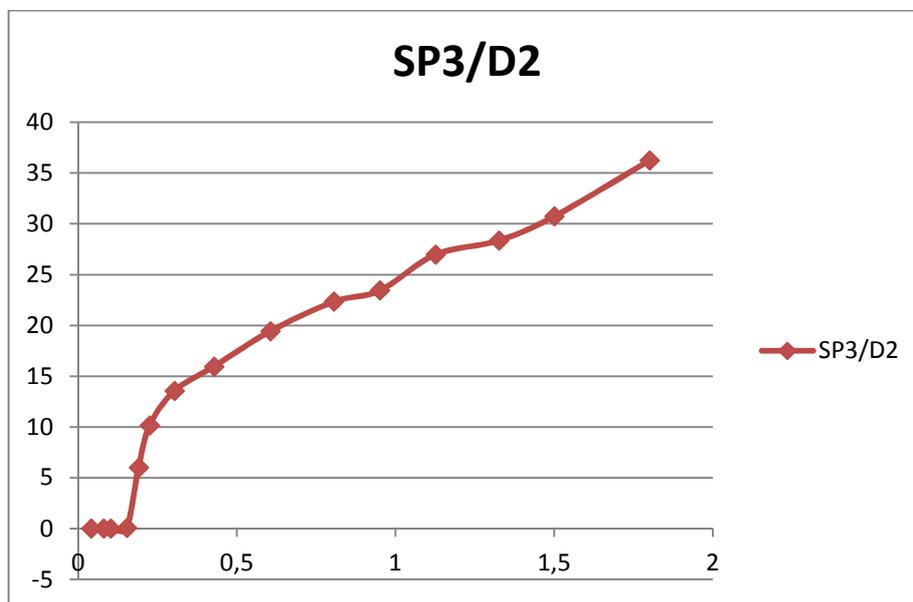


Figure04 : Courbe d'analyse granulométrique pour l'échantillon SP3/D2.

ANNEXES

ANNEXES : II

Tableau N°05 : Résultats de l'analyse granulométrique pour l'échantillon (SP3/D2).

Diamètre (mm)	Diamètre moyen (mm)	Masse (g)	%massique %	Refus Cumulé %
2	1,8	649,3	63,76	36,24
1,6	1,5	56	5,5	30,74
1,4	1,325	24,2	2,38	28,36
1,25	1,125	14,3	1,4	26,96
1	0,95	36	3,53	23,43
0,90	0,805	11,2	1,1	22,33
0,71	0,605	29,5	2,90	19,43
0,5	0,4275	35,4	3,48	15,95
0,355	0,3025	24,6	2,41	13,54
0,250	0,225	34,5	3,39	10,15
0,200	0,19	42,3	4,15	6
0,18	0,1525	60,5	5,94	0,05
0,125	0,1025	0,5	0,05	0
0,080	0,080	0	0	0
0,040	0,04	0	0	0
Totale	1018,3			

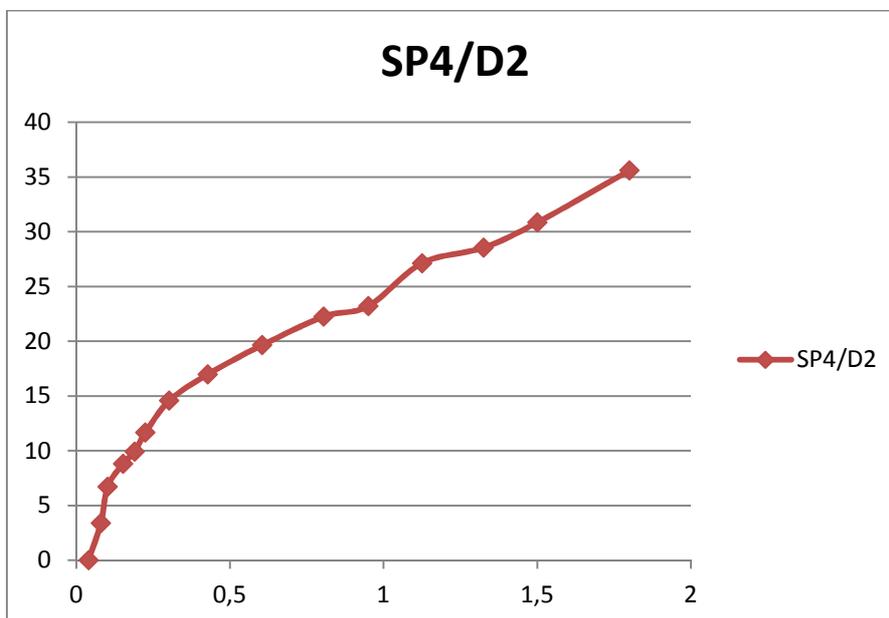


Figure05 : Courbe d'analyse granulométrique pour l'échantillon SP4/D2

ANNEXES

ANNEXES : II

Tableau N°06 : Résultats de l'analyse granulométrique pour l'échantillon (SP4/D2)

Diamètre	Diamètre moyen	Masse	%massique	Refus Cumulé
(mm)	(mm)	(g)	%	%
2	1,8	674,5	64,40	35,5921
1,6	1,5	49,7	4,7495	30,8426
1,4	1,325	24	2,2918	28,5508
1,25	1,125	14,9	1,4227	27,1281
1	0,95	41,1	3,9247	23,2034
0,9	0,805	10	0,9549	22,2485
0,71	0,605	27,3	2,6069	19,6416
0,5	0,4275	28	2,6737	16,9679
0,355	0,3025	25,1	2,3968	14,5711
0,25	0,225	30,4	2,9029	11,6582
0,2	0,19	18,3	1,7475	9,9207
0,18	0,1525	11,5	1,0981	8,8226
0,125	0,1025	22	2,1	6,7226
0,08	0,08	35	3,3422	3,38
<0,080	0,04	35,4	3,38	0
Totale		1047.2	100	0

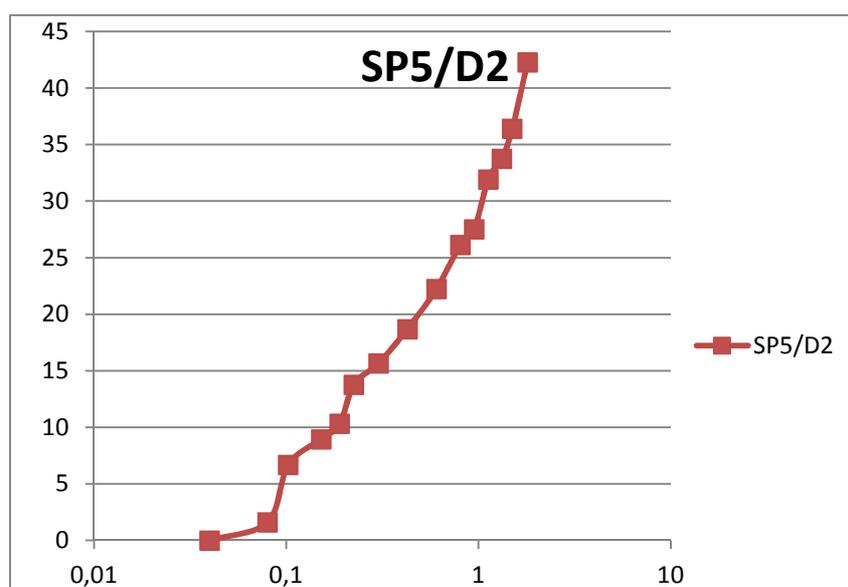


Figure 06 : Courbe d'analyse granulométrique pour l'échantillon SP5/D2 .

ANNEXES

ANNEXES :III

.2.les résultats des analyses chimiques

Tableau N°01 :les résultats de l'analyse chimique FX pour l'échantillon SP1/ D2

Résultat				
Echantillon : SP1 D2			Date d'analyse : 21.05.2019	
Type d'Echantillon : Oxyde/Poudre				
No.	Elément	Résultat (% massique)	Oxyde	Résultat (% massique)
1	B	0.5346	B2O3	1.7214
2	C	3.6363	CO2	13.3238
3	Na	0.0424	Na2O	0.0572
4	Mg	0.5979	MgO	0.9914
5	Al	5.1563	Al2O3	9.7426
6	Si	3.8159	SiO2	8.1632
7	P	0.3398	P2O5	0.7785
8	S	0.0246	SO3	0.0615
9	Cl	0.0321	/	/
10	K	0.0054	K2O	0.0065
11	Ca	0.417	CaO	0.5835
12	Ti	0.1919	TiO2	0.3202
13	Cr	0.0152	Cr2O3	0.0222
14	Mn	0.1285	MnO	0.166
15	Fe	44.6719	Fe2O3	63.8687
16	Ni	0.007	NiO	0.0089
17	Zn	0.0271	ZnO	0.0338
18	As	0.0304	As2O3	0.0401
19	Sr	0.0159	SrO	0.0188
20	Y	0.0053	Y2O3	0.0068
21	Zr	0.0186	ZrO2	0.0251
22	Pd	0.0241	PdO	0.0277

ANNEXES

ANNEXES : III

Tableau N°02 : les résultats de l'analyse chimique FX pour l'échantillon SP1/ D3

Résultats				
Echantillon : SP1 D3			Date d'analyse : 21.05.2019	
Type d'Echantillon : Oxyde/Poudre				
No.	Elément	Résultat (% massique)	Oxyde	Résultat (% massique)
1	B	0.5939	B2O3	1.9123
2	C	4.2411	CO2	15.5396
3	Na	0.0908	Na2O	0.1224
4	Mg	0.514	MgO	0.8523
5	Al	5.3206	Al2O3	10.0531
6	Si	4.1104	SiO2	8.7934
7	P	0.6896	P2O5	1.5801
8	S	0.0305	SO3	0.0763
9	Cl	0.0372	/	/
10	K	0.009	K2O	0.0108
11	Ca	1.8347	CaO	2.5673
12	Ti	0.2023	TiO2	0.3375
13	V	0.039	V2O5	0.0696
14	Cr	0.0119	Cr2O3	0.0175
15	Mn	0.582	MnO	0.7514
16	Fe	39.8996	Fe2O3	57.0456
17	Ni	0.0077	NiO	0.0098
18	Zn	0.0149	ZnO	0.0185
19	As	0.0252	As2O3	0.0333
20	Sr	0.0356	SrO	0.0421
21	Y	0.0136	Y2O3	0.0172
22	Zr	0.0142	ZrO2	0.0192
23	La	0.0238	La2O3	0.0279
24	Ce	0.018	CeO2	0.0221
25	Nd	0.0311	Nd2O3	0.0363
26	Pb	0.0067	PbO	0.0072

ANNEXES

ANNEXES : III

Tableau N°03 :les résultats de l'analyse chimique FX pour l'échantillon **SP2/ D2**

Résultat				
Echantillon : SP2 D2			Date d'analyse : 21.05.2019	
Type d'Echantillon : Oxyde/Poudre				
No.	Elément	Résultat (% massique)	Oxyde	Résultat (% massique)
1	B	0.8808	B2O3	2.836
2	C	3.1304	CO2	11.4702
3	Mg	0.1923	MgO	0.3189
4	Al	2.589	Al2O3	4.8918
5	Si	1.8754	SiO2	4.012
6	P	0.4439	P2O5	1.0172
7	S	0.0174	SO3	0.0435
8	Cl	0.0216	/	/
9	Ca	0.4678	CaO	0.6545
10	Ti	0.1201	TiO2	0.2004
11	V	0.0513	V2O5	0.0916
12	Cr	0.0092	Cr2O3	0.0134
13	Mn	0.0411	MnO	0.0531
14	Fe	51.9324	Fe2O3	74.2493
15	Co	0.0093	Co2O3	0.0131
16	Ni	0.0053	NiO	0.0068
17	Zn	0.0178	ZnO	0.0221
18	As	0.0285	As2O3	0.0377
19	Sr	0.0112	SrO	0.0133
20	Y	0.0101	Y2O3	0.0129
21	Zr	0.0153	ZrO2	0.0206

ANNEXES

ANNEXES : III

Tableau N°04 :les résultats de l'analyse chimique FX pour l'échantillon **SP2/ D3**

Résultat				
Echantillon : SP2 D3			Date d'analyse : 21.05.2019	
Type d'Echantillon : Oxyde/Poudre				
No.	Elément	Résultat (% massique)	Oxyde	Résultat (% massique)
1	B	0.5167	B2O3	1.6638
2	C	3.9057	CO2	14.311
3	Na	0.2562	Na2O	0.3453
4	Mg	0.9839	MgO	1.6313
5	Al	7.882	Al2O3	14.8928
6	Si	7.0921	SiO2	15.1721
7	P	0.4425	P2O5	1.0139
8	S	0.119	SO3	0.2971
9	Cl	0.0506	/	/
10	K	0.0301	K2O	0.0361
11	Ca	2.0164	CaO	2.8213
12	Ti	0.2108	TiO2	0.3516
13	V	0.0456	V2O5	0.0815
14	Cr	0.0155	Cr2O3	0.0227
15	Mn	0.7215	MnO	0.9316
16	Fe	32.3205	Fe2O3	46.2096
17	Ni	0.0078	NiO	0.0099
18	Zn	0.0117	ZnO	0.0146
19	Ga	0.0022	Ga2O3	0.0029
20	As	0.0295	As2O3	0.039
21	Sr	0.0279	SrO	0.033
22	Y	0.0067	Y2O3	0.0085
23	Zr	0.0167	ZrO2	0.0225
24	Ce	0.025	CeO2	0.0307
25	Pb	0.0061	PbO	0.0066

ANNEXES

ANNEXES : III

Tableau N°05 :les résultats de l'analyse chimique FX pour l'échantillon **SP3/ D2**

Résultat				
Echantillon : SP3 D2			Date d'analyse : 21.05.2019	
Type d'Echantillon : Oxyde/Poudre				
No.	Elément	Résultat (% massique)	Oxyde	Résultat (% massique)
1	B	0.6815	B2O3	2.1944
2	C	4.3585	CO2	15.97
3	Na	0.0292	Na2O	0.0394
4	Mg	0.2529	MgO	0.4193
5	Al	3.9516	Al2O3	7.4665
6	Si	2.6149	SiO2	5.594
7	P	0.8136	P2O5	1.8643
8	S	0.0424	SO3	0.106
9	Cl	0.0106	/	/
10	K	0.0063	K2O	0.0076
11	Ca	2.7873	CaO	3.9
12	Ti	0.1271	TiO2	0.2119
13	V	0.0541	V2O5	0.0966
14	Cr	0.0084	Cr2O3	0.0122
15	Mn	0.1798	MnO	0.2322
16	Fe	43.1608	Fe2O3	61.7083
17	Ni	0.005	NiO	0.0064
18	Zn	0.0135	ZnO	0.0168
19	As	0.0355	As2O3	0.0468
20	Sr	0.0166	SrO	0.0196
21	Y	0.0079	Y2O3	0.0101
22	Zr	0.0152	ZrO2	0.0206
23	Ba	0.0241	BaO	0.0269
24	Ce	0.0111	CeO2	0.0136
25	Pb	0.0055	PbO	0.0059

ANNEXES

ANNEXES : III

Tableau N°06 :les résultats de l'analyse chimique FX pour l'échantillon **SP4/ D2**

Résultat				
Echantillon : SP4 D2			Date d'analyse : 21.05.2019	
Type d'Echantillon : Oxyde/Poudre				
No.	Elément	Résultat (% massique)	Oxyde	Résultat (% massique)
1	B	0.6902	B2O3	2.2223
2	C	3.2042	CO2	11.7406
3	Na	0.0256	Na2O	0.0345
4	Mg	0.1131	MgO	0.1875
5	Al	3.91	Al2O3	7.3879
6	Si	2.5724	SiO2	5.5032
7	P	0.6008	P2O5	1.3767
8	S	0.0386	SO3	0.0963
9	Cl	0.0059	/	/
10	K	0.0067	K2O	0.008
11	Ca	0.4652	CaO	0.6509
12	Ti	0.1242	TiO2	0.2072
13	V	0.0506	V2O5	0.0903
14	Cr	0.0065	Cr2O3	0.0095
15	Mn	0.116	MnO	0.1498
16	Fe	49.1196	Fe2O3	70.2277
17	Ni	0.0055	NiO	0.007
18	Zn	0.0187	ZnO	0.0233
19	As	0.0231	As2O3	0.0305
20	Sr	0.0171	SrO	0.0202
21	Y	0.0088	Y2O3	0.0111
22	Zr	0.0071	ZrO2	0.0096

ANNEXES

ANNEXES : III

Tableau N°07 :les résultats de l'analyse chimique FX pour l'échantillon **SP5/ D2**

Résultat				
Echantillon : SP5 D2			Date d'analyse : 21.05.2019	
Type d'Echantillon : Oxyde/Poudre				
No.	Elément	Résultat (% massique)	Oxyde	Résultat (% massique)
1	C	3.1979	CO2	11.7174
2	Na	0.0238	Na2O	0.032
3	Mg	0.3218	MgO	0.5335
4	Al	3.8255	Al2O3	7.2281
5	Si	3.0478	SiO2	6.5202
6	P	0.4426	P2O5	1.0141
7	S	0.025	SO3	0.0625
8	Cl	0.0315	/	/
9	K	0.014	K2O	0.0169
10	Ca	0.7577	CaO	1.0602
11	Ti	0.1499	TiO2	0.2501
12	V	0.0463	V2O5	0.0827
13	Cr	0.0095	Cr2O3	0.014
14	Mn	0.109	MnO	0.1408
15	Fe	49.7274	Fe2O3	71.0967
16	Ni	0.0073	NiO	0.0091
17	Zn	0.0238	ZnO	0.0296
18	As	0.0422	As2O3	0.0558
19	Sr	0.0139	SrO	0.0165
20	Y	0.0106	Y2O3	0.0135
21	Zr	0.0149	ZrO2	0.0202
22	Ce	0.017	CeO2	0.0209
23	Nd	0.0215	Nd2O3	0.025
24	Pb	0.008	PbO	0.0087

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]DJELLAL, S., GUENDOUZEN, S.,&MALEK, N. (2015). Valorisation de rejet de minerai de phosphate noir de gisement de kef Es Sennoun de Djebel Onk dans l'élaboration d'une biocéramique (Mémoire de Master, UAMB).
- [2]NOUIOUA,D.,MERBAI , H .,&MALEK, N. (2016).Influence du broyage sur les caractéristiques chimiques et minéralogiques du minerai de phosphate de Kef Essennoun Mémoire de Master, UAMB).
- [3]BELKACEMI, A ., KACEL, M.,& AYADI,B .(2014).Caractérisation et Elaboration D'un Schéma de Traitement de Tuf de Remila (Bejaia)(Mémoire de Master, UAMB).
- [4] Journal internationale des minéraux et de la métallurgie, numéro 4 p346, Avril 2015.
- [5]BERSI, M., SAIBI, H., &CHABOU, M. C. (2016). Aerogravity and remote sensing observations of an iron deposit in Gara Djebilet , southwestern Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 116, 134-150.
- [6]FERRAL. Projet de Traitement du minerai de Gara Djebilet 2015.
- [7]Travaux de valorisation de minerais de fer de Gara Djebilet (journal officielle de la république algérienne N°67, p1562,19décembre 1984
- [8] Rapport de projet de traitement de minerai de fer de Gara Djebilet (conférence de presse, premier ministre Mr Abdelmalek Sellal 2015 ©2019 jijel.info Designed by Hurricane Media AQS 12-03-2015 00:11) .
- [9]BOUCIF, A1 ., KHERAIF ,S2 ., ATOUI ,L3 .(2007).Pelletisation du minerai de fer de gara djebilet destine à alimenter le haut fourneau. (Revue Synthèse N° 16, Laboratoire de métallurgie et génie des matériaux, Université Badji Mokhtar – Annaba).
- [10]YAICHI ,A .,ZAOUI ,A .,&BEN ADLA, M.(2016). Etude litho-stratigraphique et sédimentologie du dévonien inférieur -dévonien moyen D'OuedTalha (Tindouf) (Mémoire de Master, Université de Tlemcen).
- [11]GEVIN P. (1960). Etude et reconnaissance géologique sur l'axe cristallin Yetti-Eglab.et ses bordure sédimentaire ; premier partie : Bordure sédimentaire. Publ. ServcartGeol. Algérie. Bull n°.23, 328 p.
- [12]CHABOU-M.C.(2001). Etude pétrographique et géochimique du magmatisme mésozoïque de l'Ouest de la plate-forme saharienne, Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 181 p.
- [13]FABRE, J., 1976. Introduction à la Géologie du Sahara algérien et des régions voisines. publisher not identified ED.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [14] **ZEINI A. (2006)**. Etude stratigraphique et organisation séquentielle des terrains du Dévonien inférieur et moyen de gara Djebilet (flanc Sud du bassin de Tindouf Algérie Sud -Ouest) mémoire d'ingénieur d'êta en science de la terre université d'Oran.70 p., 21 fig., 1 tab., 2 pl.
- [15] **BERSI, M., & CHABOU MOULLEY, C. (2016)**. Cartographie et mode de mise en place des dykes et des sills de la province magmatique de l'Atlantique central (CAMP) dans le bassin de Tindouf. (thèse doctorat , Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène)
- [16] **FABRE, J., 2005**. Géologie du Sahara occidental et central. Musée Royal de l'Afrique Centrale ,Tervuren.
- [17] **OLIVIER D., 2012**. Minerai de fer, l'émergence d'une nouvelle commodité sur les marchés financiers .Travail de Bachelor réalisé en vue de l'obtention du Bachelor HES, p57.
- [18] **BELHAJ H.M., 2008**. Processing and Pelletizing of Low Grade Malaysian Iron Ore. University Sains Malaysia, p 48.
- [19] **CHAABIA, R., & BOUNOUALA, M. (2016)**. Caractérisation-physico-chimique, et enrichissement des minerais de fer gisement d'Anini, Sétif-Algérie (thèse doctorat, UBMA)
- [20] The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2013 [archive], consulte 2014-09-11, voire notamment le chap. "Ocean acidification", p 4.
- [21] (en) **R.L. CLENDENEN et H.G. DRICKAMER**, « The effect of pressure on the volume and lattice parameters of ruthenium and iron », Journal of Physics and Chemistry of Solids, vol. 25, n° 8,) 868-865 p. ,1964 DOI 10.1016/0022-3697(64)90098-8).
- [22] **ALAIN FAUJA** .Le marché mondiale de fer et de l'acier journal africains Jeune Afrique |04 février 2019 à 10h12 en ligne <https://www.jeuneafrique.com/rubriques/economie/>
- [23] **FA (fédération française de l'acier)**. Crédits photographiques : Convertisseur Dunkerque © ArcelorMittal (couverture) - © Monique Tanguy - © Daniel Ansart - © AREVA Creusot Forge - © Aperam - Fotolia.com - Graphisme : c.boisse@noos.fr Edition de Juillet 2012
- [24] **MEYRIE** (publication les grandes ateliers de l'Isle d'Abeau). CUSIN-38300 dépoté l'égalé 2em semestre 2006, ISBN 2-913962-11-4.
- [25] **ÉRIC, DREZET**, « Épuisement des ressources naturelles » [archive], EcoInfo (CNRS), 11 mars 2014
- [26] **MINERAI DE FER : le risque de pénurie à long terme** » [archive], *Les Échos*, 3 décembre 2004

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [27] **M. ALEXEI MOJAROV**, rapport de la CNUCED intitulé The Iron Ore Market 2011-2013 UNCTAD/PRESS/PR/2012/028 Geneva, Suisse, (31 juillet 2012).
- [28] **CLAIRE KÖNIG** Chimie du fer l'élément métal Dossier - Le fer tombe le masque Publié le 31/01/2017 Modifié le 01/02/2017 La . Ici, variété d'hématite. © Albert Russ, Shutter stock.
- [29] **WIKIPEDIA®** est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.
- [30] centre d'information sur les Emballage Recyclés en Acier, info@cimra.fe www.ciemra .fr
- [31] **ELABORATION DES METAUX**, Age du fer – 2ème période (après 1500) p19 , Fe₂O₃ : hématite – Fe₃O₄ : magnétite – FeO : wüstite p21, Aciéries électriques p 28
- [32] Association d'idées pour l'architecture, Construire-acier, Qu'est-ce que l'acier P24 .
- [33] **ALEXANDRIN**, Information image, schéma des opérations de la sidérurgie perso Alexandrin GFDL, le 03 février 2012 .
- [34] **DEUTSCHE FOTOTHEK**, Original image description from the Deutsche , File:Fotothek df n-34 0000274 MetallurgefürWalzwerktechnik, Stabwalzwerk .jpg , Création : 1982 date QS:P,+1982-00-00T00:00:00Z/9 .
- [35] Group de Corporation (Kunming Iron Steel, Chine) le 21 décembre 2014
- [36] **MOUSSACEB , K., &** (2007) . optimisation de système de gestions de l'homogénéisation du cru et du processus de fabrication du ciment . (laboratoire de technologie des matériaux et de génien de procédés, thèse doctorat , UAMB).
- [37] les essais d'équivalent de sable, Essai C.B.R, Los Angeles, Micro Deval.
- [38] **MOUSSACEB. K (boues d'usines)** cours master II VRM .UAMB.2018/2019 .
- [39] **HAMADEH, H., & . PATISSON, F. (2017)**. Modélisation mathématique détaillée du procédé de réduction directe du minerai de fer. (thèse Doctorat , université de Lorraine).
- [40] **BIANCHINI, A. (2010)**. Activité antifongique des bactéries lactiques: Facteurs influant sur la production et la stabilité des composés antifongiques de *Lactobacillus plantarum* et effets des composés antifongiques sur la croissance et la production d'aflatoxines par *Aspergillus* Spp. Université de Nebraska-Lincoln.
- [41] **BOUABDELLAH** (séparation magnétique) cours de master I VRM UAMB.2017/2018.
- [42] **SOUICI**. (Hydrométallurgie) cours master II VRM Université de Bejaia 2018/2019.
- [43] **AYADI, B., & BOUNOUALA, M. (2010)**. Caractérisation et choix d'un schéma de traitement du minerai cuivre-fer de DOUAMIS (Ouenza-Algérie). Mémoire de magister, université d'Annaba.
- [44] **ARTICLE PERIODIQUE** Prix des métaux : les tarifs des métaux en novembre 2019 . Le prix du fer depuis janvier 2006. © JDN

ABSTRACT

Abstract

The objective of this work is the characterization and enrichment of the iron ore of Gara Djebilet, this deposit which has large reserves of feroolithic ore. The problem discussed in this study is the harmful impurities that reside within the texture of ores and that represent large amounts of phosphorus and require maximum removal to a level that meets international standards.

The realization of this study required a combination of analytical methods (Mineralogical by XRD, Chemical by FX, Thermal by ATG) and processes of concentration of ore (magnetic separation, and magnetizing roasting).

The enrichment process adopted is not sufficient for the removal of the amounts of phosphorus presented in the iron ore study to the desired value, it is recommended to vary the roasting time and the proportion of coke mixed with the ore when introduced into the dufour.

Key words: GaraDjebilet iron deposit , mineralogical characterization, phosphorus, magnetic separation, magnetizing grid.

Résumé

Le gisement de fer de Gara Djebilet est l'un des occurrences oolithique se situe a sud ouest de pays et a 1600 km de la cote algérien . ce gisement dispose une quantité importants de réserves .

L'objectif de se travaille est la caractérisation et l'enrichissement de se minerai ,et essai de l'élimination de phosphore jusqu'à une quantité minimale .

La réalisation de cette étude a nécessité une combinaison entre des méthodes d'analyses (Minéralogique par DRX. Chimique par FX. Thermique par ATG) et des procédés de concentration de minerai (séparation magnétique, et le grillage magnétisant).

Le procédé d'enrichissement adopté n'est pas suffisant pour l'éliminations des quantités de phosphore présentés dans le minerai de fer étudier jusqu'à la valeur souhaitée, il est recommandé de varie le temps de grillage et la proportion de coke mélangé avec le minerai lorsqu'il est introduit dans le four.

Mots clés : Gisement de fer ,Gara Djebilet , Caractérisation minéralogique, Phosphore ,Séparation magnétique, Grillage magnétisant

ملخص

يقع منجم الحديد غارة جبيلات (Gara Djebilet) في الجنوب الغربي للجزائر على بعد 1600 كم من ساحل البلاد .

الهدف من هذا العمل هو دراسة الخصائص المعدنية لخام الحديد وءاعطاء نموذج لكيفية تنقيته و المشكلة التي نوقشت في هذه الدراسة هي الشوائب الضارة التي تتواجد داخل نسيج ال خامات والتي تمثل كميات كبيرة من الفسفور وتتطلب أقصى قدر من الإزالة إلى مستوى يفي بالمعايير الدولية .

يتطلب تحقيق هذه الدراسة مجموعة من الطرق التحليلية بواسطة الطرق (الكيميائية FX ،الحرارية ATG ،المعدنية XRD) . وعمليات تركيز خام الحديد(الفصل المغناطيسي ، والتحميص مغنط)

لا تكفي عملية التخصيب المعتمدة لإزالة كميات الفسفور المقدمة في دراسة خام الحديد إلى القيمة المرغوبة ، فمن المستحسن تغيير وقت التحميص ونسبة فحم الكوك الممزوج بالخام عند إدخاله في الفرن.

الكلمات المفتاحية : ترسبات الحديد، غارة جبيلات (Gara Djebilet) ، شبكة التمغنط ، الفصل المغناطيسي ، الفوسفور، التوصيف المعدني .