



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة العربي التبسي-تبسة

Université Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des mines

قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا

Département des mines et de la géotechnologie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master

Filière : Génie minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

**Etude d'influence et d'optimisation des paramètres
d'une séparation magnétique lors du traitement des
rejets de fer -cas de la mine d'Ouenza, Tébessa**

Présenté par

❖ GHAOUI.Ahlem

Devant le jury :

		Grade	Etablissement
Président :	BOUZENZANA.A	Dr	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	LARABA .M	Dr	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	AMIRCH.A	Dr	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2022-2023



Année universitaire : 2022-2023

Tébessa le : 20/06/2023

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 Ghaoui Ahlem

2

Niveau : 2^{ème} année Master

Option :

V. R. M.

Thème :

Etude d'influence et d'optimisation des
Paramètres d'une Séparation magnétique lors
du Traitement des Resets de fer - Cas de la mine
d'El-ouenza - Tébessa

Nom et prénom de l'encadreur :

D'El-ouenza - Tébessa

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I	
Chapitre II	
Chapitre III	
Chapitre IV	



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم : مؤرخ في : 2023/05/29

يتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12- 363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل و يتم المرسوم التنفيذي رقم 09 - 08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،

- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدّد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،

- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدّد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،

- وبموجب القرار رقم 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 والمتضمن مواءمة التكوينات في الماستر بعنوان جامعة تبسة في ميدان "علوم وتكنولوجيا".

- وبموجب القرار رقم 921 المؤرخ في 25 أوت 2021 المعدل للملحق القرار 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 والمتضمن مواءمة التكوينات في الماستر بعنوان جامعة تبسة في ميدان "علوم وتكنولوجيا"، اختصاص تميم الموارد المعدنية

- وبعد الاطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في 15 ماي 2023 ،

يقرّ ما يأتي:

المادة الأولى: تُعيّن بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماستر المحضّرة من طرف الطالب (ة):

غاوي أحلام، المولود (ة) بتاريخ 1999/03/26 بـ الونزة - تبسة ،

والموسومة بـ **Étude d'influence et d'optimisation des paramètres d'une séparation magnétique lors du traitement des rejets de fer - cas de la mine d' El-Ouenza, Tébessa**

والمسجل (ة) بمعهد المناجم

المادة 2: تتشكّل اللجنة المشار إليها في المادة الأولى من الأعضاء الآتي ذكرهم:

رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	عميرش عبد الكريم	أستاذ محاضر - ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسا
2	لعرابة محمد	أستاذ محاضر - ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	مشرفا
3	بوزنزانة عبد العالي	أستاذ محاضر - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنا

المادة 3: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يُسلم نسخة عنه إلى كلّ من الطالب المعني والمشرف على المذكرة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه.

المادة 4: تحفظ نسخة عن هذا المقرر في الملفّ البيداغوجي للطالب المعني، وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2022/05/19

عن المدير، وبتفويض منه

مدير معهد المناجم

المدير
مدير معهد المناجم



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة الشهيد العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم: مؤرخ في: 2023/05/30

يتضمن الترخيص بمناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،

- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،
- و بمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12- 363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل و يتم المرسوم التنفيذي رقم 09- 08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،
- و بمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،
- و بموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفاءات إعداد و مناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادة 7 منه،

- و بموجب القرار رقم 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 و المتضمن مواعمة التكوينات في الماستر بعنوان جامعة تبسة في ميدان "علوم وتكنولوجيا".
- و بموجب القرار رقم 921 المؤرخ في 25 أوت 2021 المعدل للملحق القرار 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 و المتضمن مواعمة التكوينات في الماستر بعنوان جامعة تبسة في ميدان "علوم وتكنولوجيا"، اختصاص تامين الموارد المعدنية
- و بموجب المقرر رقم المؤرخ في 2023/05/29 و المتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر،
- و بعد الاطلاع على مقرر تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في 15 ماي 2023
يقر بما يأتي:
المادة الأولى: يُرخصُ للطالب (ة) غاوي أحلام، المولود (ة) بتاريخ 1999/03/26 بـ الونزة - تبسة، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

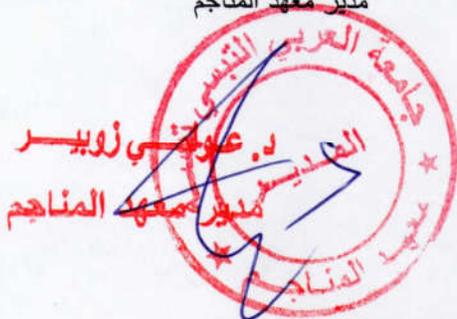
Étude d'influence et d'optimisation des paramètres d'une séparation magnétique lors du traitement des rejets de fer - cas de la mine d'El-Ouenza, Tébessa

المادة 2: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يسلم نسخة عنه إلى الطالب المعني بالمناقشة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه، وبضمان نشره عبر فضاءات المؤسسة المادية والرقمية.
المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملفّ البيداغوجي للطالب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2023/05/30

عن المدير، وبتقويض منه

مدير معهد المناجم



Remerciements

Je remercie beaucoup, et avant tout, le seul, le puissant et le grand Allah, pour la force et la puissance qui ma donné tout au long de mes années d'étude.

J'exprime mon grande reconnaissance et mes vifs remerciements à mon encadreur Mr.LARABA Mohamed pour la confiance qu'il ma témoigné en moi diriger tout au long de ce mémoire sa disponibilité ses encouragements et sa patience qui ma permis de finaliser ce modeste travail.

Je remercie les enseignants de l'institut des mines qui ont participé à mon formation au cours de toutes mes années d'étude.

Je tiens à remercier également les membres de jury d'avoir accepté de juger mon présent travail.

Enfin, je remercie tous ceux qui ma ont soutenu et aider de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A toute ma deuxième famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, et tous les amis

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Vous êtes l'un des plus beaux cadeaux de la vie.

Je remercie Dieu et le remercie

Merci d'être toujours là pour moi.

AHLEM GHAOUI

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
CHAPITRE I RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE	
Introduction	02
1. Définition	02
2. Le minerai de fer	02
3. Types des minerais de fer	03
4. Les propriétés du minerai de fer	05
5. Origines des minerais de fer	06
6. Classification des minerais de fer	07
7. Domaines d'utilisation de fer	08
8. Marché du minerai de fer	09
9. Traitement de minerai de fer dans le monde	10
10. La géographie et les gisements de fer en Algérie	11
11. Production du minerai de fer en Algérie	15
Conclusion	19
Références	20
CHAPITRE II GEOLOGIE & EXPLOITATION	
Introduction	22
Cadre géographique	22
Géologie Régionale	23
Litho stratigraphie	24
Type du gisement	30
Minéralisation	31
Conditions minières	32
Etat des réserves	34
Nature des substances extraite	36
Conclusion	45
Références	46
CHAPITRE III MATERIELS ET METHODES	
Introduction	49
Echantillonnage	49
Analyse granulométrique	50
Tamisage	53
Analyses chimiques	54
Conclusion	57
CHAPITRE IV RESULTATS & DISCUSSIONS	

Introduction	58
Analyses granulométriques	58
: Analyse chimique	62
IV. 3 Séparation magnétique	63
Résultat de la séparation magnétique	64
Conclusion	67
Conclusion générale	68

Résumé

La présente étude entre dans le cadre de proposer une solution pour améliorer la qualité des rejets de fer de lamine d'el-Ouenza. Les analyses granulométriques du concentré et des rejets de fer ont révélé la présence de particules fines. Les résultats montrent que la concentration de fer augmente lorsque la taille des particules diminue. Pour valoriser ces rejets de fer, une séparation magnétique à haute intensité a été utilisée sur les fractions granulométriques inférieures à 125µm. Les produits magnétiques obtenus ont montré une augmentation significative de la teneur en fer, avec le rendement le plus élevé dans la tranche inférieure à 100µm. Les analyses chimiques confirment cette augmentation de la teneur en fer. En conclusion, la séparation magnétique à haute intensité SMHI a permis d'améliorer la qualité des produits et d'augmenter leur teneur en fer, offrant ainsi des possibilités de l'utiliser dans l'industrie sidérurgique.

Abstract

This study aims to propose a solution to improve the quality of iron rejects from El-Ouenza steel mill. Grain sizes an analysis of the concentrate and iron rejects revealed the presence of fine particles. The results show that the concentration of iron increases as the particle size decreases. To valorize these iron rejects, a high-intensity magnetic separation was used on fractions with a particle size below 125µm. The obtained magnetic products demonstrated a significant increase in iron content; with the highest yield in the fraction below 100µm. Chemical analyses confirm this increase in iron content. In conclusion, high-intensity magnetic separation (HIMS) has improved the quality of the products and increased their iron content, providing opportunities for their utilization in the steel industry.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح حلاً لتحسين جودة بقايا الحديد من منجم الوزنة. أظهرت تحاليل حجم الحبيبات للتركيز الحديد وبقايا الحديد وجود جسيمات ذات أبعاد صغيرة. تشير النتائج إلى أن تركيز الحديد يزداد عندما يقل ابعاد الجسيمات. لتتمين هذه النفايات من الحديد ، تم استخدام طريقة فصل مغناطيسي عالي الكثافة على الحبيبات ذات الأبعاد الأقل من 125 ميكرومتر. أظهرت المنتجات المغناطيسية المحصل عليها زيادة كبيرة في محتوى الحديد ، مع أعلى إنتاجية في المنتج أقل من 100 ميكرومتر. تؤكد التحاليل الكيميائية هذه الزيادة في محتوى الحديد. في الختام ، أدى الفصل المغناطيسي عالي الكثافة (HIMS) إلى تحسين جودة المنتجات وزيادة محتواها من الحديد ، وبالتالي توفير فرص لاستخدامها في صناعة الصلب.

Liste des figures

Figure I.1: carte de situation des différents gisements de fer en Algérie	15
Figure I.2: Carte des principales ressources minérales de l'Algérie	17
Figure III: Principaux flux de minerai de fer à travers le monde (2009)	18
Figure II.1 Situation géographique du gisement d'el-Ouenza.	23
Figure II.2 Carte géologique et structurale de la région de l'Ouenza (Lazizi M., 2012).	28
Figure II.3 Coupe litho stratigraphique des monts du mellègue d'après: [Dubourdiou (1956, 1959); Madre (1969); Thibieroz and Madre (1976); Chikhi (1980); Bouzenoune (1993).]	29
Figure II.4 Disposition des gites métallifères de la mine de l'Ouenza.	
Figure II.5 Mode de chargement d'un trou de mine (selon BP fait par le bureau méthode, Ouenza, 2015).	40
Figure II.6 Schéma représentatif des opérations minières au niveau de complexe de l'Ouenza (Selon BP fait par le bureau méthode Ouenza, 2015).	43
Figure III.1 terril de rejets de fer de la mine d'el-Ouenza	49
Figure III.2 : concasseur utilisé	51
Figure III.3 : Broyeur a disque utilisé	51
Figure III.4 : Diviseur utilisé	52
Figure III.5 : opération de quartage	53
Figure III.6 : Tamis utilisés pour le tamisage des échantillons	53
Figure III.7 : Agitateur magnétique	55
Figure III.8 : séparateur (SMHI) inventé utilisé	56
Figure III.9 : Appareil de FRX utilisé	56
Figure IV.1 Résultat de tamisage du : A) concentré et B) rejet de fer d'el-Ouenza	59
Figure IV.2 : Courbe d'analyse du concentré du fer d'el-Ouenza	61
Figure IV.2 : Courbe d'analyse du rejet du fer d'el-Ouenza	61
Figure IV.4 : produits issus de la séparation magnétique	64
Figure IV.5 : Rendement des produits magnétiques en fonction des tranches granulométriques	65

Liste des tableaux

Tableau I.1: Différents types du minerai de fer (Ferenczi, P., 2001)	3
Tableau I.2: Processus de formation géologique du minerai de fer (Norman N.G. and Alan E. 1997)	6
Tableau I.3: Procédés minéralurgiques et leurs conditions et limites d'utilisation	11
Tableau I.4: Production du minerai de fer : durée 2008 - 2009	16
Tableau I.5: Les plus grands pays producteurs de fer De 2013 à 2019	17
Tableau II.1 : État récapitulatif des réserves exploitables actualisées au 30/12/13 (Plan d'exploitation BP, 2014)	34
Tableau II.2:État récapitulatif des réserves géologiques actualisées au 31/12/2013(FERPHOS,2014)	36
Tableau II.3 Paramètres d'exploitation de la mine de l'Ouenza.	38
Tableau II.4 Chiffres prévisionnels de productions des sondeuses (selon BP fait par le bureau méthode, Ouenza,2015).	39
Tableau II.5Paramètres techniques d'abattage. (selon BP fait par le bureau méthode, Ouenza, 2015).	40
Tableau II.6 : Chiffres prévisionnels de productions des engins de chargement et de transport (selon BP fait par le bureau de méthode, Ouenza,2015).	41
Tableau II.7: Production prévisionnel des concasseurs (selon BP fait par le bureau de méthode,Ouenza, 2015)	42
Tableau III.1 : tamis utilisés pour le tamisage	54
Tableau IV.1 : Analyse granulométrique du concentré du fer d'el-Ouenza	60
Tableau IV.2: Analyse granulométrique du rejet du fer d'el-Ouenza	60
Tableau IV.3 : Analyses granulochimiques du concentre et de rejet de fer d'el-Ouenza	63
Tableau IV.4 : Produits obtenus après séparation magnétique (poids et rendements)	65

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Le complexe minier de l'Ouenza est une installation de production de minerai de fer et la commercialisation du minerai vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar situé dans la Wilaya de Annaba. La mine d'El Ouenza est la plus grande mine d'Algérie, abritant une réserve de 120 millions de tonnes de minerai de fer.

Durant l'extraction et la production du fer, la société génère des quantités énormes de rejets de fer qui à l'heure actuelle n'ont pas été traités. A travers cette étude (Étude d'influence et d'optimisation des paramètres d'une séparation magnétique lors du traitement des rejets de fer -cas de la mine d'Ouenza, Tébessa), on va essayer de valoriser ces rejets en passant par une préparation mécanique afin d'obtenir les fractions nécessaires à l'enrichissement, en suite applique la séparation magnétique pour enrichir ces rejets de fer.

Notre étude comporte deux principaux volets:

- Le premier volet est consacré à une préparation mécanique suivie par une caractérisation (analyses chimiques) ;
- Le deuxième volet est consacré à la la valorisation des rejets de fer d'el-ounza en utilisant la séparation magnétique.

Pour ce faire, ce mémoire est organisé comme suit :

Premier Chapitre: présentation d'une recherche bibliographique orientée vers une identification du fer, leurs types de formations, leurs classifications ainsi que leurs domaines d'utilisations et leurs procédés de traitements.

Deuxième Chapitre: présentation de la géologie et des paramètres d'exploitation minière qui caractérisent le complexe minier de l'Ouenza afin d'approfondir nos connaissances sur le gisement. Ce chapitre se focalise sur une présentation succincte des conditions géologiques (localisation, litho-stratigraphie, etc.) ainsi que des éléments spécifiques à l'exploitation minière (méthode d'extraction, état des réserves, etc.).

Troisième chapitre : présentation de matériels et des méthodes utilisées pour caractériser nos échantillons de kaolin à savoir : une analyse granulométrique, une analyse chimique par FRX. Ce chapitre comporte aussi la méthode de valorisation des rejets de fer par séparation magnétique.

Quatrième Chapitre : Ce dernier chapitre présente les résultats expérimentaux de la valorisation et leurs interprétations

CHAPITRE I

RECHERCHE

BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

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

Le fer est le quatrième élément le plus abondant dans la croûte terrestre, il est aussi un des plus anciens métaux utilisés dans l'industrie de puis 15000 A.C. La plupart du minerai de fer extrait de haute qualité est transporté, et puis expédié où la quasi-totalité de la production mondiale (98%) est destinée à la sidérurgie.

1. Définition

Le fer est l'élément chimique de numéro atomique 26, de symbole Fe. 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 additionnels modifie considérablement ses propriétés mécaniques. Allié au carbone et avec d'autres éléments d'addition il forme les aciers, dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus les propriétés du matériau. [01]

2. Le minerai de fer

Le minerai de fer se compose de roches et des minéraux desquels du fer métallique peut être extrait de manière rentable. Le minerai extrait est habituellement riche en oxydes et en carbonates de fer et de couleur gris foncé, jaune éclatant, pourpre foncé ou rouille. Le fer lui-même se trouve généralement sous la forme de magnétite (Fe_3O_4), d'hématite (Fe_2O_3), de goethite, de limonite ou de sidérite, l'hématite est aussi appelée minerai naturel. Le minerai de fer est la matière première de la fonte de première fusion, qui est elle-même la matière première principale de l'acier. (Houdaifa G., 2020)

Le minerai riche

Ce qui donne des minerais marchands sans aucune transformation (run of mine), ou après concassage-criblage, parfois après un traitement simple n'affectant qu'une faible partie du tout-venant (débouillage, élimination ou enrichissement des parties les plus fines souvent plus

chargées en impuretés). Les minerais riches titrent en général entre 55 et 67 % de fer (MESSAI A., 2019)

Le minerai pauvre

Est un tout-venant qui doit subir un traitement parfois complexe permettant d'éliminer la plus grande partie de la gangue. Par enrichissement, on obtient généralement des concentrés pour agglomération. Les teneurs en fer des minerais actuellement exploités s'échelonnent entre 25 et 50 % (Pierre S., 1989).

3. Types des minerais de fer

On peut classer les minerais de fer selon plusieurs facteurs (la composition minéralogique, la composition chimique, la granulométrie...etc.). La composition chimique est la plus utilisée pour la classification des différents types de minerai comme présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.1: Différents types du minerai de fer (Ferenczi, P., 2001)

Minerais	Formule chimique	Teneur théorique possible (%)	Masse volumique (g/cm ³)	Dureté
Hématite	Fe ₂ O ₃	70	5.1	5 – 6
Magnétite	Fe ₃ O ₄	72	5.2	5.5 – 6
Martite	α-Fe ₂ O ₃	70	5.3	5.5 – 6.5
Goethite	FeO(OH)	63	3.3 - 4.3	5 – 5.5
Sidérite	FeCO ₃	48	4	4
Chamosite	(Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₄ (OH) ₈	45	3.1	3
Pyrite	FeS ₂	47	4.9	6 – 6.5
Limonite	FeO(OH).n(H ₂ O)	63	3-4	5 – 5.5
Lépidocrocite	γ-Fe ₂ O ₃ .H ₂ O	60	4.1	5
Greenalite	Fe ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	45	2.9	3
Ilménite	FeTiO ₃	37	4.7 - 4.79	5 - 6

- **Hématite Fe₂O₃**

Il est connu aussi « fer naturel », un nom qui a été utilisé dans le domaine d'exploitation minière quand certains minerais de fer (hématite) ont une teneur en fer de 66% et peuvent

alimentés directement le haut fourneau (Minéral Information Institute., 2006). La plupart des gisements d'hématite sont d'origine sédimentaire telle que les gisements de fer rubané (BIF). Leurs formations ne sont pas comprises entièrement, bien qu'il soit connu qu'ils sont formés par la précipitation chimique du Fe des mers peu profondes il y a environ 1.8 – 2.6 millions d'années, pendant la période précambrienne (Harry K., et al., 1973).

- **Magnétite Fe_3O_4**

Est un minéral métallique, qui contient deux oxydes de fer (Fe II et Fe III) et Fe_2O_3 . La magnétite de haute teneur contient plus de 60% Fe avec certaines impuretés tel que la silice, l'alumine et le phosphore. La magnétite peut être enrichie par concassage suivi par une séparation magnétique. Cette séparation est efficace pour la magnétite de faible teneur en comparaison avec l'hématite (Norman N.G. and Alan E., 1997)

- **Martite α - Fe_2O_3**

Le terme martite est utilisé dans l'industrie du fer pour l'hématite secondaire formée en remplaçant la magnétite. Le remplacement s'effectue à partir des bords extérieurs vers le centre des grains de magnétite, généralement le long de plans cristallographiques. Une partie de la martite dans les dépôts de Wabush contient jusqu'à 10% en poids de Mn (Petruk, W., 2000).

- **Goethite et Limonite $FeO(OH)$**

La goethite est une substance minérale secondaire formée par l'oxydation de carbonates de fer, d'hématite, de martite et de magnétite. Il se présente sous forme de poudres et de masses botryoïdales dans les espaces ouverts le long des failles, dans les espaces interstitiels entre les grains d'hématite et en tant que couche externe sur les grains d'hématite et de martite. Des masses de goethite sont présentes dans le quartz où la goethite a remplacé l'hématite. La goethite qui a remplacé l'hématite ne contient pas de Mn, tandis que la goethite qui a remplacé les carbonates et la martite contient des quantités importantes de Mn (jusqu'à 27% en poids de Mn). Une partie de la goethite a été remplacée par un oxyde de Fe hydraté contenant 25 à 45% en poids de Fe et pas de Mn. L'identité de cette phase n'a pas été déterminée, bien qu'elle soit communément appelée limonite (Petruk, W., 2000).

- **Sidérite FeCO_3**

Elle présente la proportion des réserves les plus bas au monde. Quand elle est pure, elle contient 48.3% Fe mais elle est facilement décomposée à une hématite de 70% Fe par l'échauffement (Petruk, W., 2000).

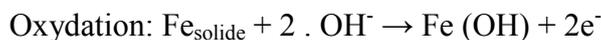
- **Chamosite $(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{14}(\text{OH})_8$**

Il se produit avec l'ensemble de la sidérite et l'hématite dont la concentration relativement faible. Elle est usuellement contient certaines sulfures, phosphore et autre séléments tels que le quartz et la calcite (Harry, K., et al., 1973)

4. Les propriétés du minerai de fer

- Couleur : Le fer pur est un métal blanc argenté.
- Malléabilité et plasticité : Le fer est un métal très ductile et malléable.
- Degré d'oxydation et de réactivité : Le fer se limite aux degrés d'oxydation +2 et +3.

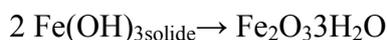
Le fer métallique est très sensible à la corrosion, réaction redox sous l'action de l'oxygène présent dans l'air. Cette réaction a lieu en présence d'air humide transformant le métal en oxyde de fer (III), la rouille Fe_2O_3 . Le mécanisme peut être décrit par les équations redox suivantes :



L'hydroxyde de fer(II) formé est rapidement oxydé en hydroxyde de fer(III).



Qui se transforme spontanément en oxyde de fer(III), Fe_2O_3 hydraté.



La présence d'eau est indispensable pour amorcer la corrosion, milieu dans lequel se dissolvent les ions Fe(II) formés au cours de la réaction. Ainsi, l'eau contenant les sels de Fe(II) augmente les zones de contact entre les régions actives favorisant le phénomène. La couche d'oxyde formée à la surface ne protège pas le métal car elle se craquelle, et le processus de corrosion se poursuit conduisant à la destruction totale du métal.

Le pouvoir réducteur de Fe^{2+} augmente avec la formation de complexes. Cette propriété est utilisée en chimie analytique : le sel de Mohr de formule $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ dans le fer est coordonné à six molécules d'eau, permet de doser des oxydants puissants tels que MnO_4^- , $Cr_2O_7^{2-}$, H_2O_2 .

Les solutions d'acides minéraux attaquent le fer, formant en absence d'oxygène l'ion $Fe(II)$ hydraté et de l'hydrogène dissous. En présence d'oxygène, l'ion $Fe(II)$ est oxydé en ion $Fe(III)$. L'acide nitrique concentré réagit en surface avec le fer, ce qui rend le fer passif (Houdaifa G. et Hadjira M. 2020)

5. Origines des minerais de fer

Le tableau I.2 présente le processus de formation géologique ainsi que le type du minerai de fer obtenu avec ces principaux minéraux (Norman N.G. and Alan E., 1997)

Tableau I.2: Processus de formation géologique du minerai de fer (Norman N.G. and Alan E. 1997)

Processus	Type du gisement	Minéraux principaux
Sédimentation	gisement de Fer rubanée (BIF)	Magnétite, Hématite, Sidérite, Fer Silicatés
	Roches Ferreuses	Chamosite, Limonite, Hématite, Sidérite
Activité igné (volcanique)	Séparation magmatique	Titanifère, Ilménite, Magnétite, Fer silicatés
	Pyrométasomatique	Magnétite
L'érosion à la surface ou proche	Enrichissement secondaire des gisements de fer en teneur faible	Magnétite, limonite, sidérite

Lors de la formation naturelle du minerai de fer, il se produit des couches des oxydes de fer qui sont disposées avec des couches riches en silice partiellement décomposée, ce qui présente un minerai de fer de faible teneur (pauvre) (S.A. Elmquist and R.H. Behrendt., 1994).

La formation d'un gisement du minerai de fer peut être :

- Sédimentation directe
- Activité igné (volcanique)

- La désagrégation à la surface ou proche (Métamorphique)

6. Classification des minerais de fer

Rare sont les métaux qui existent à l'état natif ou métallique. Le fer se trouve sous forme de minerais qui sont constitués de roches contenant des composés chimiques définis. Le fer existe sous forme d'oxyde, comme l'hématite, oxydes anhydres ou hydratés, carbonates, sulfates, de symbole chimique Fe est blanc argenté avec des reflets gris. Sa densité volumique est de $7,874 \text{ g/cm}^3$. Le Clarke : 50 kg de fer par tonne de la croûte terrestre (soit 5 %), ce qui en fait le 4^{ème} élément présent dans l'écorce terrestre.

Sa masse atomique est de 55,845 μm son rayon atomique lui est de 140 (156) pm. Cet élément fond environ à une température de 1540°C et chauffé, il bout à 2750°C . Ce métal peut être magnétique, appelé ferromagnétique, lorsqu'il est à une température ambiante, mais quand il dépasse les 790°C il perd cette propriété. Cela veut dire que les moments magnétiques des atomes s'alignent lors d'une influence d'un champ magnétique et conserve cette fonction après la disparition du champ. Cette substance pure a une dureté comprise entre 4 et 5, ce qui la rend malléable, molle et ductile. Le fer change de forme en fonction de la température. A température ambiante il est un solide cristallin de structure cubique centré et à haute température, il devient cubique à face centrée. C'est-à-dire plein de petits cristaux en cube rassemblés ensemble de couleur blanche grisâtre. Quand on rajoute d'autres métaux ou d'autres matières, le fer change de propriétés physiques et devient un alliage.

Les minerais de fer en une teneur en fer variable selon le minérale ferrifère. La majeure partie du fer dans la croûte est combinée avec l'oxygène, formant des minerais d'oxyde de fer, tels que l'hématite (Fe_2O_3), la magnétite (Fe_3O_4) et la limonite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). L'oxyde magnétique ou magnétite Fe_3O_4 est connu depuis l'Antiquité grecque. Les concentrations de fer dans la nature sont très nombreuses et de tailles considérables ; les formations ferrifères, dont les gisements au sens économique ne constituent qu'une petite partie, en contiennent souvent plusieurs milliards de tonnes. La plupart des gisements exploités ont une teneur en fer comprise entre 30 et 65 (KHENKHAR M. I., 2018).

Par rapport à leur teneur en fer, les minerais sont classés en :

- minerais pauvres : $\text{Fe} \leq 30 \%$

- minerais moyens : Fe = 30 % ÷ 50 %
- minerais riches : Fe > 50 %

La teneur en fer des minéraux natifs est comprise entre des limites approximatives

- minéraux magnétiques : Fe = 50 % ÷ 67 %
- minéraux d'hématite : Fe = 30 % ÷ 45 %
- minéraux de limonite : Fe = 25 % ÷ 45 %
- minéraux carbonates : Fe = 30 % ÷ 40 %

7. Domaines d'utilisation de fer

L'utilisation de minerai de fer est diversifiée, presque 98% du minerai expédié est utilisé comme une matière première pour les industries sidérurgiques, le reste est reparti aux autres domaines telles que :(Houdaifa G., Hadjira M. ,2020)

- Additif pour la fabrication des ciments
- Pigments pour la peinture et l'industrie constructive
- Ferrite et pigments magnétiques
- Catalyses pour des synthèses industrielles
- Adsorbant pour la purification de l'eau et du gaz et du traitement des fluides
- faiblement radioactives
- Fabrication des bijoux (surtout l'hématite)
- Industries chimiques
- Production photochimique
- Agent de pondération dans les boues de forage
- Alimentation animale
- Production des engrais
- Amélioration des sols
- Enrichissement des minéraux (lavage du charbon)
- Polissage des lentilles optiques

8. Marché du minerai de fer

Dans le passé, les distances avaient divisé le monde en marchés individuels des minerais de fer. Depuis quelques décennies, on assiste à l'approvisionnement des grandes sidérurgies par des minerais ayant accompli des trajets maritimes très longs. Il n'existe pas de marché forme l'organisé du minerai de fer et de l'acier. La formation des prix n'est en cela pas transparente, toutefois, l'usage veut que les prix soient fixés de gré à gré entre grandes sociétés internationales (ROUAIGUIA I. , 2018)

Prix

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

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

Établissement des prix

Il semble que la négociation annuelle d'un prix du minerai de fer avec les utilisateurs s'avère de plus en plus difficile, à mesure que l'on abandonne les contrats à long terme pour profiter du prix au comptant élevé du précieux minerai. Le développement d'un marché financier diversifié du minerai de fer permettrait aux exploitants d'usines de traitement et aux producteurs de fixer leurs prix de manière à courir moins de risques et de favoriser un équilibre entre les prix de référence et les prix au comptant, ainsi qu'entre leurs intérêts. Respectifs, afin d'éliminer la combativité et la tension inhérentes aux négociations annuelles. Le minerai de fer est commercialisé sous plusieurs formes : les morceaux, blocs rocheux, de plus de 40 mm environ (lumps ou calibrés), les fines (0-10 mm) pour agglomération sur grille(ou sinter-feed), les boulettes (10-20 mm) ou pellets, fabriquées à partir de minerais très fins (moins de 100 mm). On estime à près de 98% la part du minerai de fer employé pour la fabrication d'acier. Ce pourcentage très élevé s'explique notamment par le caractère extrêmement polyvalent de ce métal en comparaison avec la fonte (MOUSSACEB. K., 2007)

9. Traitement de minerai de fer dans le monde

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

Après avoir obtenu les dimensions voulues, on peut passer aux différentes méthodes de valorisation, et qui vont être choisies en prenant en compte les caractéristiques physicochimiques et minéralogiques, du minerai à enrichir, à savoir ; la susceptibilité magnétique, la susceptibilité électrique, la masse volumique... etc. Parmi les procédés de séparation conventionnelle, on note : la séparation gravimétrique, la séparation électrique, la séparation magnétique et la flottation. Ces méthodes ont leurs limitations (tableau I.3). Chaque méthode possède un domaine de dimensions (pour les particules de minerai soumises au traitement).

Il existe une limite de discrimination dans la différence entre les propriétés des minéraux, pour chaque appareil, que l'on peut définir comme la sensibilité de la méthode. Par ailleurs, lorsque l'on essaye de faire un bilan des propriétés de minéraux qui sont effectivement. Utilisées pour réaliser des séparations minéralurgiques, il est clair que le nombre de ces propriétés est très faible (KHENKHAR M. I., 2018).

Tableau I.3: Procédés minéralurgiques et leurs conditions et limites d'utilisation

Procédés	Propriétés	Conditions et limites d'utilisation
Concentration gravimétrique	Différence de masse volumique entre les minéraux	<ul style="list-style-type: none"> –Taille des particules supérieure à 1 μm –Différence entre les masses volumiques des matériaux à séparer supérieure à 1g/cm³ –Degré élevé de libération des contaminants organiques
Flottation	Propriétés hydrophobes et hydrophiles des surfaces des particules	<ul style="list-style-type: none"> –Taille des particules supérieure à 5 μm –□Surfaces des particules à séparer démontrant des propriétés hydrophobes de façon naturelle ou stimulée (ajout de réactifs chimiques) –Degré moyen de libération des contaminants inorganiques (exempts de phases inorganiques incluses)
Séparation magnétique	Propriétés magnétiques des minéraux	<ul style="list-style-type: none"> –Contaminants métalliques présentant des propriétés ferromagnétiques (fer, magnétite) –Taille des particules supérieure à 75 μm –Degré moyen de libération des contaminants organiques
Séparation électrostatique	Différence de conductivité électrique entre les minéraux	<ul style="list-style-type: none"> –Taille des particules comprise entre 60 et 500 μm –Les matériaux à séparer doivent être parfaitement secs –Degré élevé de libération des contaminants organiques

10. La géographie et les gisements de fer en Algérie

Aperçus géographiques de fer en Algérie

Les gisements de fer en Algérie sont représentés sur la carte internationale des gisements de fer de l'Europe et les régions voisines.

Pour les types génétiques nous avons cherchés à établir une classification simple et rationnelle valable pour la presque totalité des gites de fer en Algérie en évitant à présenter trop des subdivisions qui sont : (MEDDAH Nadia, SAIB Fatma, 2020)

- a) **Gisements ségrégation associés aux roches volcaniques acides** : Dans ce type sont rangés quelques petits amas de magnétite et pyrite de fer incluses dans les rhyolites.
- b) **Gisements de type Skarn à magnétite dans des terrains métamorphiques** : Dans le socle cristallin des massifs Kabyles, il existe quelques gisements de magnétite non-titane qui présente des traits communs.
- c) **Gisements hydrothermaux filoniens (type filon à sidérite)** : Les filons de sidérite se rencontrent dans la région littorale entre Ténès et Alger.
- d) **Gisements de substitution dans des roches carbonatées** : Ce type de gisement bien connu en Afrique du nord et très répandu en Algérie du nord.
- e) **Gisements sédimentaires oolithiques** : Ce sont des couches de fer oolithiques interstratifiées dans des séries détritiques marines ordinairement au voisinage de l'ancien rivage du continent.
- f) **Gisements de remaniements, résiduels, ou dus aux eaux d'infiltrations nonterminales** : Parfois au voisinage des gisements de substitution dans des calcaires, on trouve des grottes, des cavités, ou des fractures remplies de goéthite et de l'hématite.

Les gisements sont distribués dans les principaux domaines suivants : La plateforme saharienne, la région plissée par l'orogénèse alpine.

Les différents gisements de fer en Algérie(MEDDAH Nadia, SAIB Fatma,2020)

Les différents gisements de fer existant en Algérie sont représentés dans la figure I.1.

- **Gisement de Camérata**

Le massif de Camérata fait partie intégrante de la région de Beni Saf, il est situé à 7km au Nord-Est de Beni Saf. Camérata est située dans la partie ouest de l'Atlas tellien appartenant à un domaine à structure synclinale. La minéralisation de cette région est de type amas karstique et filonien. Elle s'exprime sous forme d'hématite et d'oligiste. L'essentiel de la minéralisation est encaissé dans les calcaires et les schistes d'âge paléozoïque.

- **Gisement de l'Ouenza**

Le massif de l'Ouenza situé dans le Nord-Est Algérien. Il se trouve à 160 km au sud de la ville d'Annaba, dans l'Atlas saharien oriental près des frontières Algéro-Tunisiennes. La

minéralisation de la région de l'Ouenza se trouve essentiellement dans des formations carbonatées d'âge aptien localisée à proximité des appareils diapiriques.

Cette minéralisation est principalement ferrifère ou bien accessoirement polymétalliques, la première minéralisation est essentiellement hématique avec la présence d'autres oxydes et hydroxydes de fer.

- **Gisement de Boukhadra**

Le gisement de Boukhadra est situé à 47Km de la mine de l'Ouenza. Son importance réside dans le gisement de fer qui est considéré comme la deuxième source de minerai de fer en Algérie, après celle de la mine de l'Ouenza. Le gisement de fer de Boukhadra est à relief montagneux de type amas et filons. Le minerai exploité est constitué principalement d'hématite qui est le constituant majeur du Minerai avec de la goethite et autres ocres limonitiques.

- **Gisement de Rouina**

Le gisement de fer de Rouina est situé dans la Commune de Rouina, dans la Wilaya d'Ain Defla. Le gisement de fer de Rouina, fait partie du massif rocheux de Rouina. Ce massif a pris naissance après l'orogénèse Alpine aux frontières du méga géosynclinal. La majorité des réserves est représentée par la goethite au sein de laquelle il y a des accumulations de forme irrégulière d'hématite. Au contact de la zone de métasomatites, les calcaires encaissants ont subi le processus de marmorisation.

- **Gisement de Gara Djebilet**

Le gisement affleure à ciel ouvert avec trois grandes zones de minerai : Gara Ouest, Gara Centre et Gara Est. Le corps de minerai s'enfonce en pente douce et régulière (2%) en direction Nord. Les roches encaissantes sont de nature sédimentaire (argiles, grès argileux et microconglomérats) attribuées au Dévonien (entre 400 et 350 Millions d'années). Elles constituent une série monoclinale faiblement inclinée vers le Nord (2 à 5°) du flanc sud du synclinal de Tindouf.

- **Gisement de Mecheri Abdelaziz**

Gisement situé à 100km à l'Est du gisement Gara Djebilet. La minéralisation est encaissée dans les roches du dévonien supérieur, de nature sédimentaire (conglomérats, grès, quartzites, argiles et siltites).

- **Gisement de Beni Haoua**

Les gisements ferrifères de Beni Akil et de Breira sont connus dès la fin du 21^{ème} siècle. Leur exploitation ne commença que vers 1910- 1911 et ce fut par la méthode d'exploitation souterraine. Le secteur de Beni-Akil se trouve à 160 km à l'Ouest d'Alger, plus précisément à 7km au sud-est de Beni Haoua. Dans sa partie sud, le secteur de Beni Akil est limité par la région de Breira.

- **Gisement d'Anini (Sétif)**

Le gisement de fer de « Djebel Anini » se trouve dans la partie septentrionale de l'Algérie à environ 30 km dans la partie Nord-Ouest de la wilaya de Sétif. La minéralisation ferrifère du gisement de Djebel Anini, qui est encaissée dans les calcaires massifs d'âge Cénomanién-Turonien se localise principalement dans la partie sud-ouest de ce dernier. L'étude minéralogique, montre des associations minérales simples à savoir des hydroxydes et oxydes de fer « goethite, hydrogoethite, hématite », calcite et quartz.

- **Gisement de Timezrit**

La commune de Timezrit est située au Sud-ouest de Bejaia dont elle est distante de 50km, elle est véritable carrefour des villages voisins et son chef-lieu. La mine est située au pied du village Amsiouen, sur la partie est territoire de la tribu des AthYimmal (Timezrit) elle est délimitée au nord-est par Iaachouren, au Nord-Ouest par talaIghnimen, au sud –est par Djimaa et au sud-ouest par Amsiouen. A Timezrit dans des terrains du lias, le minerai y a été incontestablement produit par l'oxydation des sidérites qui se sont substituées aux calcaires. La zone ferrifère s'étend sur un kilomètre de longueur et 50m de largeur.

- **Gisement de fer du Zaccar**

Le gisement du Zaccar est situé à trois kilomètres au nord de Miliana, avec 1550 d'altitude, le point culminant de la Dahra en Algérie. Les travaux souterrains exploitent un

filon d'hématite à faible teneur de fer (50%) dont les réserves récupérables sont très limitées, grands amas stratiformes provenant de la métensomatose des calcaires liasiques, a attiré les prospecteurs dès l'année 1870.

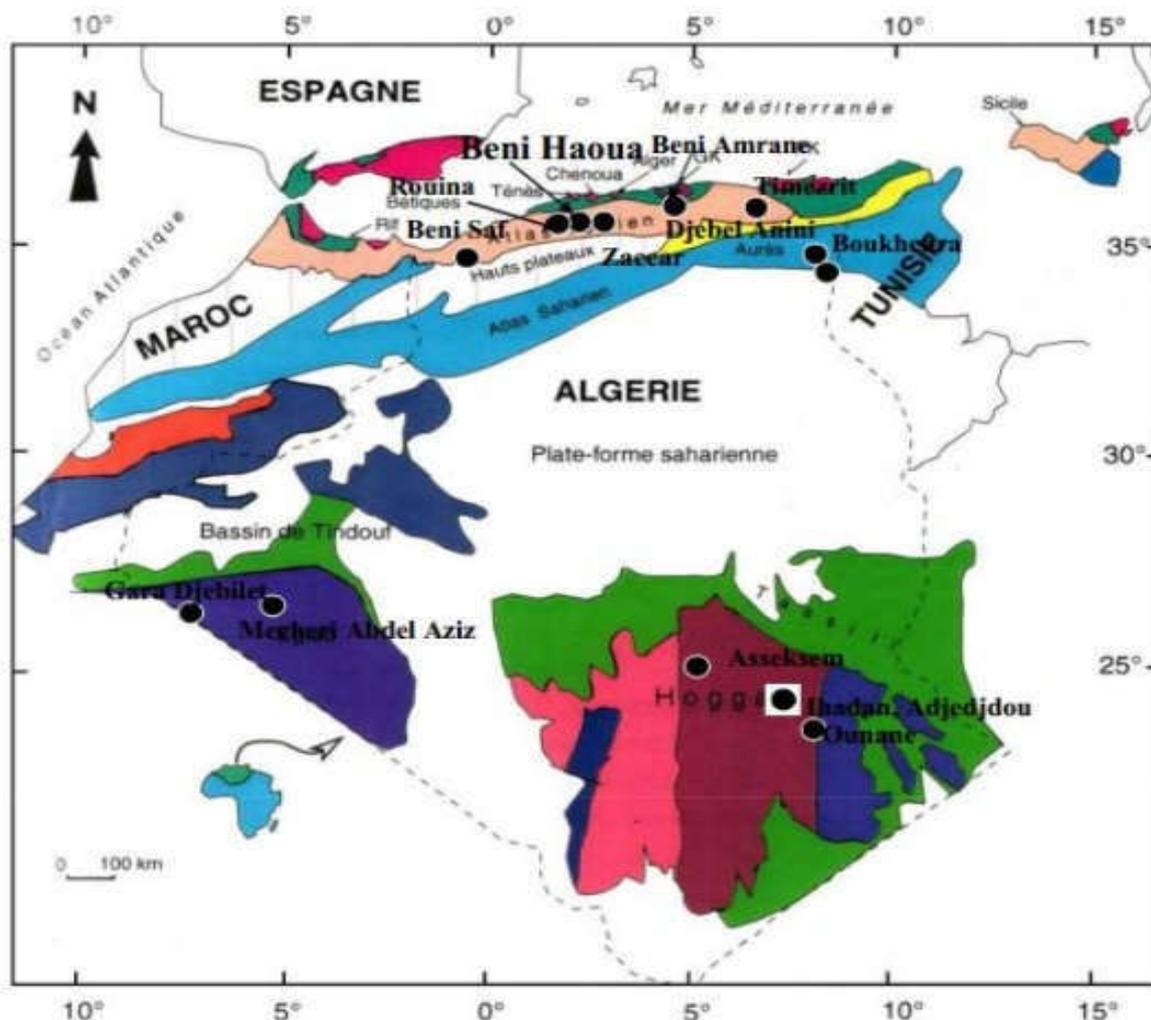


Figure I.1: carte de situation des différents gisements de fer en Algérie

11. Production du minerai de fer en Algérie

En Algérie, la production du minerai de fer en cours de l'année 2009 a été effectuée par cinq (5) mines de fer desquelles quatre (4) sont situées à l'Est et une (1) au Centre du pays. Durant l'année 2009, la holding privée ArcelorMittal, qui exploite les deux principales mines de fer de l'Ouenza et de Boukhadra dans la ville de Tébessa a produit 1037000 tonnes du minerai de fer en diminution de -39,6 % en comparaison avec l'année 2008, plus de détails sont donnés dans le tableau I.4. (ROUAIGUIA I., 2018)

La figure I.2 représente une carte des principales ressources minérales en Algérie.

Toute la production de fer de la société ArcelorMittal est destinée à l'alimentation de son complexe sidérurgique d'El-Hadjar à Annaba (Ministère de l'Energie et des Mines, 2010).

Tableau I.4: Production du minerai de fer : durée 2008 - 2009

N°	Opérateur	Gisements	Commune	Wilaya	Production 2008 (milliers de tonnes)	Production 2009 (milliers de tonnes)	Evolution (%)
01	ArcelorMittal	Ouenza	Ouenza	Tébessa	1 192	711	-40,4↓
02		Boukhadra	Boukhadra	Tébessa	525	326	-37,9↓
Somme					1 717	1 037	-39,6↓
03	SPASOMIF ER	Khanguet	Bekkaria	Tébessa	50	60	+20↑
04		Djebel Anini	Djebel Anini	Sétif	170	90	-47,1↓
05		Rouina	Rouina	Ain Defla	140	120	-14,3↓
Somme					360	270	-25↓
Total					2077	1307	-37,1↓

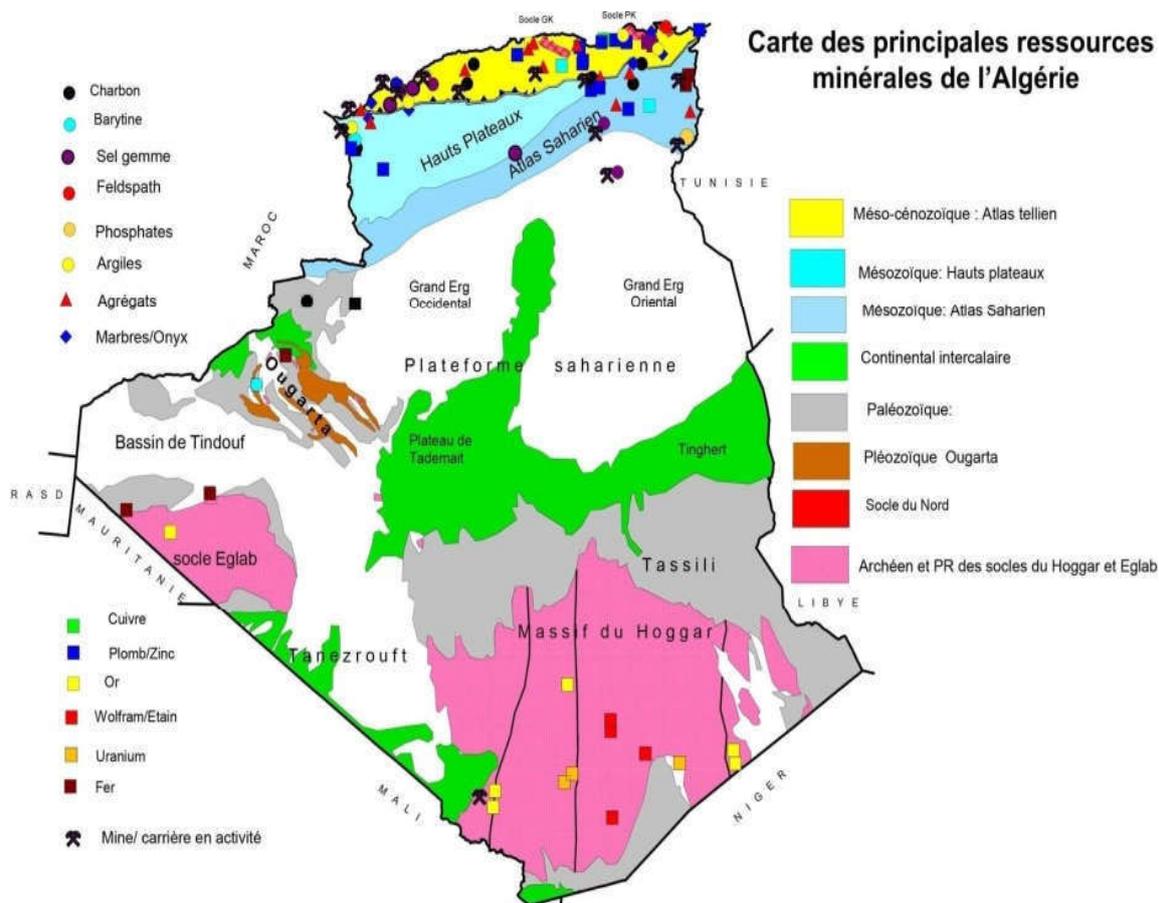


Figure I.2: Carte des principales ressources minérales de l'Algérie

12. Production de minerai de fer dans le monde

Les principaux pays producteurs de minerai de fer dans le monde en MT (De 2013 à 2019), et l'évolution de la production de minerai de fer dans le monde en millions de tonnes sur la période 1996 à 2016 sont présentés dans le tableau ci-dessous (Houdaifa GUELAI, Hadjira MERAHI, 2020)

La figure I.3 représente les Principaux flux de minerai de fer à travers le monde entier.

Tableau I.5: Les plus grands pays producteurs de fer De 2013 à 2019

Pays	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Australie	609	774	817	858	883	900	930
Brésil	317	411	397	430	425	460	480
Chine	1450	309	375	348	360	335	350
Inde	150	129	156	185	202	205	210

Russie	105	102	101	101	95	96.1	99
Afrique du sud	72	81	73	66	81	74.3	77
Autres pays	160	153	132	116	119	62.5	62
Ukraine	82	68	67	63	60.5	60.3	62
Canada	43	44	46	47	49	52.4	54
États-Unis	53	56	46	42	47.9	49.5	48
Kazakhstan	26	25	24	34	39.1	41.9	43
Iran	50	33	27	35	40.1	36.4	38
Suède	26	37	25	27	27.2	35.8	37

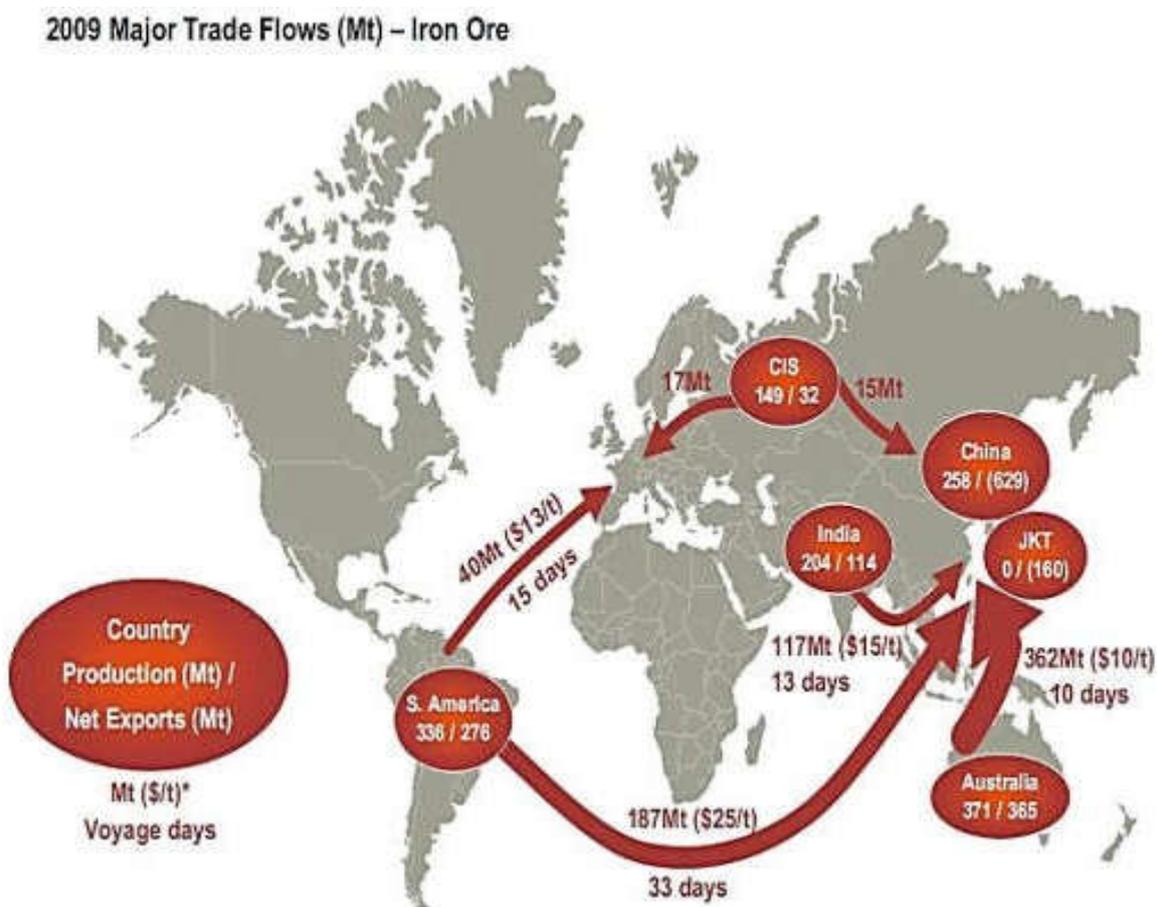


Figure I: Principaux flux de minerai de fer à travers le monde (2009)

Conclusion

En conclusion, l'exploitation minière du minerai de fer vise à maximiser l'extraction des minéraux en tenant compte des aspects économiques, environnementaux et de l'emplacement des gisements. Le fer, en tant que l'un des métaux les plus anciens utilisés dans l'industrie, est extrait principalement sous forme d'hématite et de magnétite. Les différents types de minerais de fer varient en termes de composition chimique et de propriétés. Les minerais riches en fer peuvent être utilisés directement dans la production d'acier, tandis que les minerais pauvres nécessitent un traitement plus complexe pour éliminer la gangue. La corrosion est un défi majeur pour le fer, mais ses propriétés chimiques et physiques en font un matériau polyvalent et largement utilisé. La formation des gisements de minerai de fer peut être attribuée à des processus géologiques tels que la sédimentation directe, l'activité ignée ou la désagrégation métamorphique. En fin de compte, les minerais de fer sont classés en fonction de leur teneur en fer, qui peut varier de pauvre à riche. La disponibilité et l'abondance de ces minerais en font une ressource précieuse pour l'industrie sidérurgique et l'économie mondiale.

Références

[01] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fer>

[02] **Houdaifa GUELAI, Hadjira MERAHI** : Enrichissement et agglomération du minerai de fer pauvre de L'Ouenza, mémoire de master Université Larbi Tebessi – Tébessa 2019/2020

[03] **MESSAI Ali** : Contribution à l'étude d'une valorisation des minerais de fer pauvres, cas de la mine de Rouina Ain-defla, thèse de Doctorat **Université Badji Mokhtar-Annaba 2019**

[04] **Pierre SALESSE**. (1989). *Élaboration et recyclage des métaux, Minerais et fondants*, Technique de l'Ingénieur M 7 040. pp 1-2

[05] **Ferenczi, P.** (2001) Iron ore, manganese and bauxite deposits of the Northern Territory. Northern Territory Geological Survey, Report 13, December 2001. pp. 13-41. Government Printer of the Northern Territory, Darwin

[06] **Harry, K. Harold, L.J. and Donald, G.E.** (1973) Iron, in United States Mineral Resources, US Geological Survey, Professional Paper 820, pp. 298-299

[07] **Norman N.G. and Alan E.** (eds.) (1997) *Chemistry of the Elements* 2nd ed. pp. 10-386 Butterworth–Heinemann. Oxford

[08] **Petruk, W.** (2000) *Applied Mineralogy in the Mining Industry*, 1st ed., p. 151. Elsevier Science B.V. Amsterdam, the Netherlands

[09] **US Environmental Protection Agency, EPA 530-R-94-030.** (August 1994). Technical Resource Document, Extraction and Beneficiation of Ores and Minerals. Office of Solid Waste, Special Waste Branch 401 M Street, SW Washington, DC 20460. Vol 3.

[10] **S.A. Elmquist and R.H. Behrendt.** (1994). Autogenous Mill Capacity Improvement at Hibbing Taconite Company, 67th AIME Proceeding, Minnesota Section, Duluth

[11] **KHENKHAR Mohamed Islam** : Les procédés d'Enrichissement et mise en tas du minerai de fer de l'Ouenza, mémoire d'ingénieur d'état en Génie Minier, Ecole Nationale Polytechnique. 2018

[14] **MEDDAH Nadia, SAIB Fatma** : Etude géologique et géologique de la minéralisation à magnétite de la région de Beni Amrane, mémoire de master, **Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou 2019/2020**

[12] **ROUAIGUIA Issam** : Contribution à l'étude d'une valorisation des déchets miniers cas des stériles francs de la mine de Boukhadra-Tébessa thèse de Doctorat, **Université Badji Mokhtar-Annaba 2018**

[13] **MOUSSACEB. K** : Optimisation du système de gestion de l'homogénéisation du cru et du processus technologique de fabrication du ciment dans le système carrière usine de fabrication, application aux cimenteries Algériennes, laboratoire de technologie des matériaux et de génie de procédés, Thèse Doctorat, **université de Bejaia**, (2007)

CHAPITRE II

GEOLOGIE & EXPLOITATION

Introduction

Afin d'approfondir notre compréhension de la géologie du gisement et des paramètres d'exploitation minière qui caractérisent le complexe minier de l'Ouenza, nous avons réalisé un stage sur le site. Cette expérience nous a permis de recueillir des données sur la géologie et les aspects de l'exploitation minière liés à ce gisement. Par conséquent, ce chapitre se focalise sur une présentation succincte des conditions géologiques (localisation, litho-stratigraphie, tectonique, etc.) ainsi que des éléments spécifiques à l'exploitation minière (méthode d'extraction, état des réserves, etc.).

Cadre géographique

La localité de Djebel Ouenza se trouve dans la partie Nord-Est de l'Algérie. Elle est située à une distance de 160 km au Sud de la ville d'Annaba, à 50 km au Nord de la ville de Tébessa et à seulement 15 km de la frontière entre l'Algérie et la Tunisie, le long de la route nationale n°82 qui relie Tébessa à Souk-Ahras. Le massif de Djebel Ouenza se situe dans la région des monts de Mellègue, faisant partie du diapirisme triasique de l'Atlas Saharien oriental. Il est caractérisé par une structure anticlinale s'étendant du sud-ouest au nord-est. Cette structure est formée par des dépôts sédimentaires datant du Mésozoïque, du Tertiaire et du Quaternaire (figure II.1).

Le gisement ferrifère de l'Ouenza repose sur le flanc nord d'un massif montagneux qui culmine à 1288m au niveau du pic. Il s'étend sur une longueur d'environ 12 km et une largeur de 5 km. Les amas métallifères se présentent sous la forme de mamelons grossièrement elliptiques. Ils comprennent successivement du nord-est au sud-ouest, le Koudiat Douamis, le Koudiat Hallatif, la région des conglomérats, le quartier Sainte-Barbe, le gisement de Chagoura (Nord, Sud, Pic) et le Koudiate Zerga. Le minerai affleure sur des longueurs atteignant parfois 250 mètres de long et 45 mètres de hauteur, ce qui offre des conditions idéales pour une exploitation à ciel ouvert(Lazizi M., 2012).



Figure II.1 Situation géographique du gisement d'el-Ouenza.

Géologie Régionale

Le massif de l'Ouenza se situe entre la région du Tell et l'Atlas Saharien, faisant partie de la zone des hautes plaines caractérisées par d'imposants massifs calcaires émergeant de 600 à 1200 mètres d'altitude. La géologie régionale de ce massif est illustrée dans la figure I.2.

Les Monts constitutifs de cette région, sont dits « Monts de Mellègue» (Dubourdiou G., 1956), qui composent cette région, sont des anticlinaux ou des synclinaux perchés. Ils ne forment pas une chaîne continue, mais plutôt des reliefs isolés, souvent escarpés, émergeant comme des îlots au-dessus des régions basses légèrement ondulées ou uniformes.

La région se distingue par ses reliefs élevés, avec une altitude maximale atteinte au sommet du Djebel Ouenza, qui culminait à 1288 mètres avant l'exploitation et atteint désormais environ 1225 mètres

Le réseau hydrographique est dense et bien développé, bien que l'eau soit relativement rare. Les principaux cours d'eau sont l'Oued Mellègue, qui borde la région au nord, et l'Oued Kseub, qui marque la limite sud. Leurs débits sont très variables et dépendent largement des précipitations saisonnières.

Litho stratigraphie

L'échelle stratigraphique de la région de Djebel Ouenza a été établie par Dubourdiou G. (1956) et est présentée dans la figure II.3. En nous basant sur des travaux antérieurs, nous fournirons un bref résumé de la litho stratigraphie observée dans les différentes couches géologiques de cette partie des monts de Mellègue. Cette région est caractérisée par des formations datant du Trias, du Jurassique, du Crétacé, de l'Éocène, du Miocène et du Quaternaire.

II.3.1.1 Trias

Au sein de la région des monts de Mellègue, on peut observer les formations les plus anciennes du Trias à la surface. Elles se composent principalement de marnes bariolées renfermant du gypse, ainsi que de dolomies, de calcaires dolomitiques, de fines couches micro-quartziques et de grès rouges. Les formations triasiques ont été remontées en surface par des phénomènes diapiriques qui sont particulièrement développés dans la partie nord-est du Djebel Ouenza, sur une distance d'environ vingt kilomètres.

Dans ces diapirs triasiques, il n'est pas possible d'établir une séquence lithologique cohérente en raison de la fragmentation et de la confusion des affleurements. Dans certaines zones de la région, on trouve également des éléments de roches éruptives de type "Ophite" inclus dans les masses marno-gypseuses des structures diapiriques.

Jusqu'à présent, les formations jurassiques n'ont pas été découvertes dans la région de l'Ouenza. Cependant, Dubourdiou (1956) a signalé la présence d'une brèche sédimentaire gypseuse dans le "Socle" de la série carbonatée de l'Ouenza (secteur Conglomérat). Cette brèche renferme d'importants débris de calcaires dolomitiques ainsi que des fossiles de radioles, pouvant être datés du Jurassique ou du Crétacé inférieur.

Crétacé

Crétacé inférieur

Les couches du Crétacé inférieur comprennent les étages suivants :

Barrémien

Il se trouve à la surface dans l'anticlinal de Sidi Embareka, au Nord-Est de Djebel Ouenza (Dubourdiou, 1956). Il est composé de marnes grises et jaunes non fossilifères, avec des intercalations de calcaires argileux et nodulaires. Son épaisseur moyenne est d'environ 200m (Dubourdiou, 1956.).

Aptien

Il s'expose sur de vastes étendues, devenant ainsi le plus notable de la région. Les dépôts de l'Aptien se trouvent principalement le long des bandes marquées par les

diapirs, au cœur des anticlinaux et dans d'autres horsts de la région. Ils sont étudiés en détail en ce qui concerne leur rôle en tant qu'encaissant pour la formation de minéralisations polymétalliques et ferrifères.

L'étude litho stratigraphique de l'Aptien effectuée dans le massif de l'Ouenza a montré la Succession suivante:

a.Aptienmarneux

La caractéristique principale réside dans la prédominance des marnes verdâtres formant des pseudo-bancs, qui représentent les dépôts les plus anciens de l'Aptien (Masse et Thieuloy, 1979), d'un âge compris entre l'Aptien inférieur et moyen. Ces marnes alternent avec des calcaires gréseux ou des grès sur une étendue d'environ vingt mètres. Les grès présentent un ciment sparitique et une oxydation partielle. Le tout est surmonté par des bancs de calcaires d'une épaisseur moyenne de 30 mètres..

b.Aptiencalcaire

Il repose sur les marnes aptiennes qui abritent généralement des Miliolites, des Rudistes, des Orbitholines et des Lamellibranches (Chikhi-Aouimeur, 1980). Ces couches se caractérisent par la présence abondante de quartz automorphe et ont une épaisseur variant de 108m à 172m. Ces calcaires sont considérés comme un substratum métallifère car ils constituent la principale encaissante des minéralisations ferrifères et/ou polymétalliques (Dubourdiou, 1956 ; Bouzenoune, 1993).

ZonededeClansayes

Il se trouve en surface dans différents anticlinaux de la région étudiée, composé de marnes grises et jaunes contenant des ammonites, ainsi que de calcaires gréseux (Dubourdiou, 1956). Son épaisseur varie de 100 à 200m. L'épaisseur totale de la formation aptienne varie quant à elle de 250 à 600m (Dubourdiou, 1956).

Albien

L'Albien est caractérisé par une abondante faune d'ammonites. Pendant l'Albien supérieur, la couverture albo-aptienne est perturbée par l'intrusion du Trias, ce qui provoque le soulèvement des couches et la formation de structures complexes (plis évases, plis en champignon, etc.), généralement scellées par le Vraconien (Othmanine, 1987 et Bouzenoune, 1993).

L'Albien se caractérise par des marnes argileuses dans la partie inférieure, des calcaires argileux dans la partie moyenne et des marnes noires dans la partie supérieure. Dubourdiou, (1956) a étudié plusieurs massifs de la région de l'Ouenza. Il a démontré que les calcaires aptiens sont surmontés par des marnes

datées de l'Albien inférieur par des Ammonites. La puissance des dépôts albiens est d'environ 400 – 500 m.

Vraconien(Albienterminal)

Il est généralement transgressif sur le Trias à l'Ouenza (Thibieroz et Madre, 1976) et sur l'Aptien au Djebel Slata (Smati, 1986) et au Djebel Hmeimet. Il est composé

Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur Il comprend les étages suivants:

Turonien

Il Les formations du Turonien ne sont visibles qu'à Koura Ouenza, aux environs de l'Ouenza. Elles forment les flancs des grands anticlinaux et synclinaux. Elles se composent de calcaires marneux en plaquettes de couleur gris foncé à noir, contenant de la matière organique et des concentrations pyritiques et marcaïtiques rares à la base.

Ces calcaires marquent stratigraphiquement le Cénomaniens supérieur et le Turonien inférieur. Le Turonien supérieur se caractérise par le développement de faciès marno-calcaires. L'épaisseur totale du Turonien est de 150 à 250 mètres..

Cénomaniens

Il est composé de marnes argileuses verdâtres, présentant des intercalations de calcite fibreuse.

Selon Dubourdiou (1959), on distingue la présence de deux couches : La couche inférieure composée de marnes jaunes avec des marno-calcaires blancs en feuilles, et la couche supérieure constituée de calcaires argileux de couleur gris-blanc, avec quelques niveaux de calcaires gris-noirs. L'épaisseur du Cénomaniens est de 600 à 900 mètres. Coniacien

Santonien

Il est constitué de marnes de couleur gris-bleu, alternant avec de petits bancs de calcaire marneux blanc-ocres, un peucrayeux, qui contiennent des inocérames et des ammonites. Deux ou trois lentilles calcaires qui apparaissent dans le Santonien à l'Ouest du plateau d'El Guessâat, représentent un faciès calcaire de ce niveau.

L'Eocène

L'Eocène inférieur et moyen se caractérise par la présence de calcaires siliceux et de calcaires renfermant des Nummulites, situés aux abords des Monts de Mellègue, d'une épaisseur de 200 mètres.

Campanien

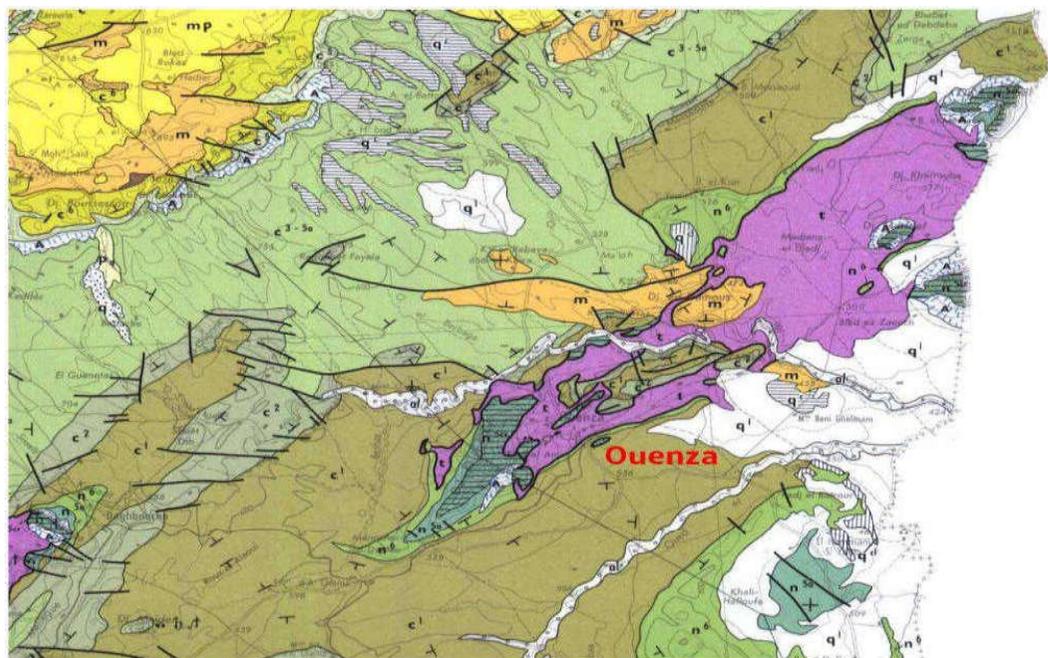
Dans la région de l'Ouenza, le Campanien est caractérisé par des marnes argileuses de teinte sombre et des calcaires blancs avec de petits bancs de marnes gris clair. Son épaisseur moyenne est d'environ 500 à 600 mètres

Miocène

Le Miocène inférieur et moyen présente des dépôts qui reposent transgressivement sur les formations allant de l'Albien au Sénonien, voire même sur le Trias. Il s'agit d'une accumulation de marnes et de grès. À leur base, les formations miocènes incluent des conglomérats contenant divers éléments calcaires, du silex gris, des galets ferrugineux ainsi que des éléments empruntés au Trias, témoignant d'une activité diapirique (Bouzenoune, 1993). L'épaisseur moyenne de ces formations est d'environ 150m (Dubourdieu, 1956).

Quaternaire

Il est marqué par des dépôts présents dans les zones les plus basses des reliefs, couvrant de vastes étendues. On y trouve des couches de calcaire, de limon, d'éboulis, de galets et de poudingues, avec une épaisseur de 10 à 30 mètres dans les vallées (Dubourdieu ; 1956).



Echelle 1/200 000
 Km 5 0 5 10 15
 L'equidistance des courbes est de 50 mètres

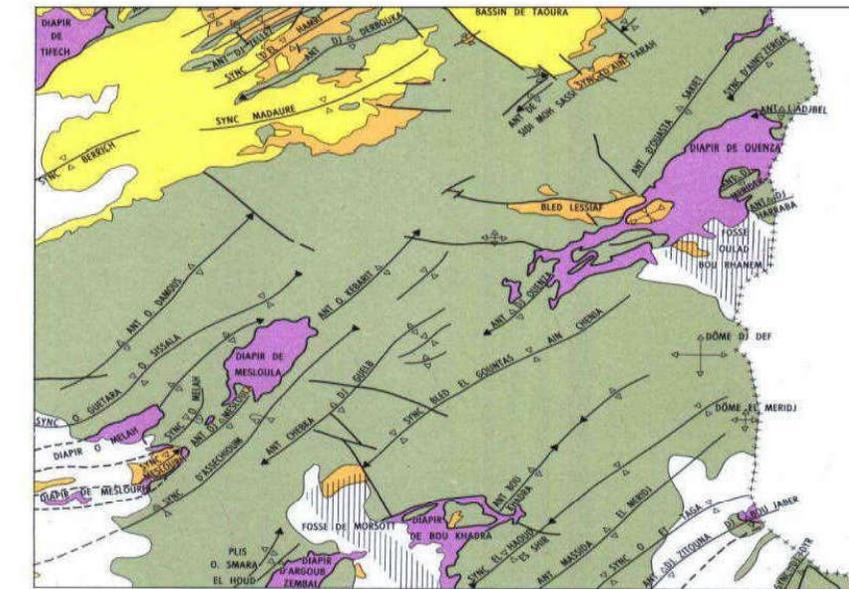
LEGENDE

CYCLES SEDIMENTAIRES

- Quaternaire et Plio-Quaternaire
- Mio-Pliocene
- Miocene et Oligo-Miocene
- Cretace et Eocene
- Trias

UNITES TECTONIQUES

- Atlas - Tellien
- Atlas - Saharien



SCHEMA STRUCTURAL
 ECHELLE 1/400 000

SIGNES CONVENTIONNELS

- Faille visible et supposee
- Contact anormal
- ▽ Axe Synclinal
- △ Axe anticlinal
- ▽ Axe de Synclinal renverse
- ⊕ Dôme
- Plongement d'axe de pli
- Fosse quaternaire

Figure II.2 Carte géologique et structurale de la région de l'Ouenza (LaziziM.,2012).

Type du gisement

À proximité des diapirs évaporitiques du Trias le long de la frontière algéro-tunisienne, on trouve divers dépôts. Les carbonates de fer (ankérite-sidérite), partiellement oxydés en hématite à la surface, sont généralement associés à des concentrations de plomb, zinc, cuivre, baryum et fluor. Certains gisements de fer importants, tels qu'Ouenza, Boukhadra et Djérissa, renferment de la galène, de la sphalérite, de la barytine et de la fluorine, tandis que certains gisements de plomb-zinc présentent de faibles concentrations de sidérite à Slata, Bou Jabeur et Mesloula.

En Europe et en Afrique du Nord, on trouve principalement des gisements de sidérite associés à des roches carbonatées marines. Ces gisements se forment dans des environnements métamorphiques (Erzberg en AUTRICHE, Batère en FRANCE) ou sédimentaires (Bilbao en ESPAGNE, Ouenza en ALGERIE, Djérissa et Hammeima en TUNISIE).

Les dolomies et les calcaires sont les roches les plus réceptives aux fluides minéralisateurs, et les minéraux se présentent sous forme de couches stratiformes, de masses ou de veines. Les sulfures, la barytine et, plus rarement, la fluorine sont associés aux carbonates de fer.

L'origine de ces gisements a été attribuée soit à l'action de fluides magmatiques hydrothermaux (Betier et al., 1952), soit à la présence de formations sédimentaires associées (de Madre, 1969 ; Soubias, 1972 ; Mahjoubi et Samama, 1983). Des études récentes ont suggéré que la formation de ces gisements pourrait être liée à la circulation en profondeur d'eaux métamorphiques (Rouvier et al. 1985 ; Pohl et al. 1986 ; Frimmel, 1988 ; Gil, 1991).

Le massif de l'Ouenza se situe dans l'Atlas saharien, dans un bassin en subsidence de l'avant-pays de l'orogénèse de l'Afrique du Nord. Cet ensemble plissé autochtone présente de nombreux diapirs évaporitiques du Trias, qui sont traversés par des grabens du Tertiaire. La séquence sédimentaire varie en épaisseur, atteignant une minceur de 0 à 50 mètres sur la crête de la zone surélevée, tandis qu'elle s'épaissit considérablement (5000 mètres dans le Crétacé) dans les zones périphériques plus éloignées. Elle est principalement constituée de calcaires, de marnes et de grès.

À Ouenza, la séquence du Crétacé est plissée en un anticlinal NE-SW. Le cœur est occupé par des formations triasiques (diapirisme), pénétrant la couverture sédimentaire crétacée lors de l'évolution du bassin (Aoudjehane et al. 1992).

Le diapir d'Ouenza est une structure NE-SW le long de la frontière Algéro-Tunisienne (Fig. II.5). De forme elliptique, il est flanqué d'une pericline au sud-ouest, avec une séquence albo-aptienne.

Le gisement de fer de l'Ouenza se trouve près des formations évaporitiques du Trias. La minéralisation se produit principalement dans les calcaires aptiens, qui contiennent des concentrations élevées de fer ainsi que des traces de Pb, Zn, Cu, Ba et F.

Le minerai de fer est composé de carbonates de fer qui ont subi une oxydation partielle, formant de l'hématite. Dans les calcaires, l'ankérite et la sidérite se substituent au grain fin, tandis que la sidérite et l'ankérite spathique se forment dans les veines. Les compositions chimiques et isotopiques de l'ankérite et de la sidérite montrent des variations limitées, ce qui suggère une précipitation à partir du même fluide. Par la suite, la minéralisation de Pb, Zn, Cu, Ba et F se produit le long de fractures orientées NE-SO et SE-NW.

Minéralisation

LA mine de l'Ouenza abrite d'énormes quantités d'un minerai de fer non phosphoreux, très riche et pur, avec une teneur moyenne de 53%.

Les phénomènes de métasomatose ont conduit à la formation de grandes masses d'hématite rouge. Le minerai est exposé sur des longueurs atteignant parfois 250 mètres et des hauteurs de 45 mètres, ce qui en fait des conditions idéales pour l'exploitation à ciel ouvert. La teneur moyenne en fer de l'hématite est de 45 à 60%, avec des traces de manganèse (2%), de phosphore (0,005%), de soufre (0,03%), de silice (0,02 à 0,03%) et de magnésie (1,50%).

Le minerai de fer du gisement ferrugineux de la mine de l'Ouenza se présente sous forme d'amas plus ou moins irréguliers dans les calcaires récifaux de l'Aptien.

Les couches calcaires ont subi des processus de substitution favorisés par la fracturation et ont donné naissance à des zones minéralisées importantes. Les veines de fer résultent de la transformation du carbonate de calcium en carbonate de fer au contact des solutions contenant des sels ferreux qui ont imprégné les bancs calcaires.

La morphologie des gisements est assez complexe. La plupart des gisements situés près de la surface sont généralement uniformes et se ramifient en plusieurs branches de tailles différentes en profondeur.

Le gisement de fer de l'Ouenza se manifeste par des amas irréguliers au sein des calcaires récifaux de l'Aptien, où il a en partie substitué ces formations.

Selon les conclusions de G. Dubourdiou (1956), les masses de minerai les plus significatives se forment principalement à proximité des grandes failles orientées NW, qui agit comme des structures d'alimentation. Au-delà de ces failles majeures, sur des distances plus ou moins importantes, les calcaires subissent un processus de métasomatose important.

La minéralisation ferrifère du gisement de l'Ouenza se caractérise par la présence d'Hématite-Limonite ou Goethite (minerai secondaire), formée par l'oxydation du minerai primaire, la sidérose, située sous le niveau hydrostatique.

La côte du niveau hydrostatique présente une légère variation d'un quartier à l'autre, se situant aux alentours de 550 mètres (100 m sous la surface)

La sidérose se développe particulièrement dans les quartiers Conglomérat et Hallatif. Elle apparaît également de manière sporadique dans les quartiers Sainte-Barbe, Chagoura Sud et Zerga.

On peut signaler la présence de certaines substances accessoires, telles que le cuivre gris en veines, la fluorine, la barytine ou la dolomie (plus ou moins ferrifère), accompagnant le minerai de fer dans les quartiers de Douamis, Hallatif et Zerga.

La barytine et la fluorine sont particulièrement observées au niveau des failles ou à proximité.

Le minerai exploité, qu'il soit noir ou rougeâtre, présente une finesse poreuse parfois pulvérulente, ainsi que des formations en concrétions ou en géodes. Il se distingue par l'abondance de petits rhomboèdres épigénèses et par les formes cristallines du sulfure de fer. Évidemment sous forme d'hématite, il contient une charge suffisante d'oxydes de manganèse et présente naturellement certaines impuretés (fines aiguilles de quartz, calcite, etc.). À l'œil nu, le minerai est généralement compact, et il est rare d'y trouver des formes cristallines nettes (Sidérose).

Selon Dubourdieu, la minéralisation n'a pu se produire qu'à la suite des premiers bouleversements tectoniques (Nummulitique) et elle est également antérieure au chevauchement récent de l'Ouenza.

Conditions minières

En raison de la structure et de la nature des roches, le complexe minier de l'Ouenza se caractérise par de nombreux gisements ferrugineux tels que Chagoura-Sud et Pic, Chagoura-Nord, Sainte-Barbe (Ilot), Conglomérat, Hallatif, Douamis et Zerga (Figure II.4).

Actuellement, l'exploitation se concentre sur les gisements de Chagoura-Sud et Chagoura-Nord. Pour les autres quartiers, certains sont en phase d'épuisement, tandis que d'autres nécessitent d'importants travaux de développement et d'aménagement (routes d'accès, plates-formes de réception, décharges, etc.) ou rencontrent des problèmes techniques qui entravent leur exploitation, comme c'est le cas pour le quartier Zerga. Ce dernier est à l'arrêt en raison de l'instabilité des gradins, ce qui constitue un obstacle à son exploitation. Ce phénomène présente un risque pour la sécurité des mineurs et des engins. Par conséquent, il a été mis hors exploitation en attendant la résolution de ce problème. La catégorisation des réserves a été faite en tenant compte des principes suivants:

- La catégorie B a été attribuée à tous les corps se trouvant au-dessus du niveau 845 jusqu'à la surface en raison de la présence de nombreux affleurements révélés lors de l'exploitation et de la densité élevée des sondages, généralement de 35x25m.
- La catégorie C1 a été attribuée aux parties des corps situées entre le niveau 785 et 845, où la densité de prospection est plus espacée, généralement de 50x50m.

Concernant les parties des corps situées en dessous des niveaux 785 jusqu'à 733 et plus bas, où les sondages sont peu fréquents en raison de la grande profondeur et où les travaux miniers à ce niveau ne sont pas bien développés, les réserves sont classées dans la catégorie C2.

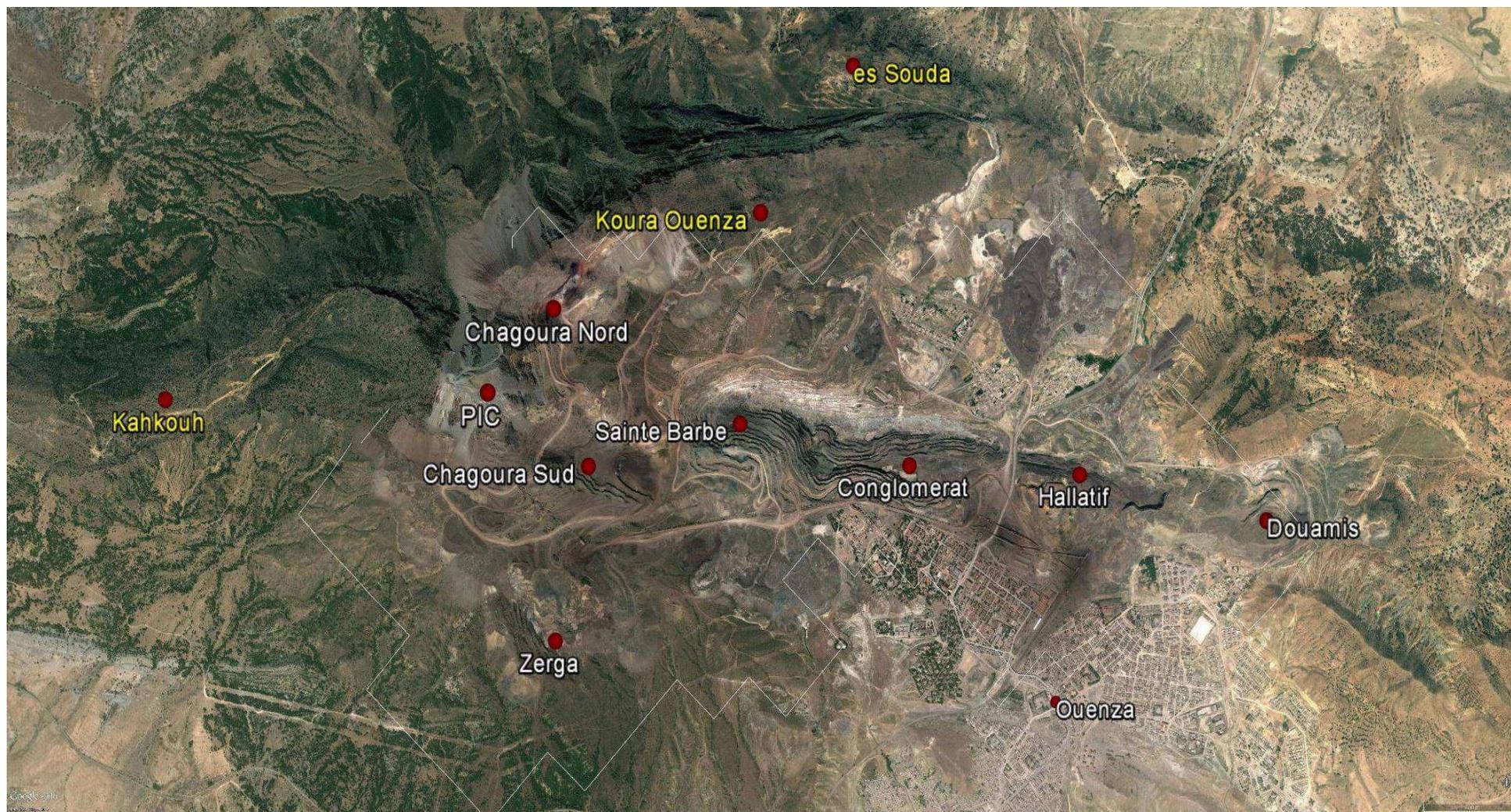


Figure 11.4 Disposition des gites métallifères de la mine de l'Ouenza.

Etat des réserves

Les réserves des gisements minéraux des quartiers ont été évaluées à l'aide de travaux miniers tels que les galeries et les recoupes, ainsi que des sondages verticaux, inclinés et horizontaux réalisés à partir de la surface ou à partir des galeries à différents niveaux. Les gisements prospectés selon une grille de 50x25m ou 25x12m sont classés dans la catégorie B. Les blocs de réserves évalués avec une grille plus large de 50x50m sont regroupés dans la catégorie C1. Les gisements délimités par des sondages uniques, où l'information géologique est insuffisante, et les parties extrapolées à partir de la catégorie C1, sont classés dans la catégorie C2.

Pour chaque quartier, les teneurs moyennes par corps et par catégories sont calculées à l'aide de méthodes différentes, adaptées à chaque situation:

- La méthode de la moyenne pondérée : Une pondération par rapport à la longueur de l'intervalle minéralisé, puis par rapport à la surface limitée par les sondages sur les coupes. Enfin par rapport au volume inclus entre deux coupes voisines.

- La méthode des coupes verticale transversales: Le calcul du volume de minerai incluse entre deux coupes se effectuée par l'application de formules géométriques adéquates.

Les tableaux II.1 et II.2 fournissent des informations sur les réserves géologiques et les réserves exploitables des quartiers miniers de la mine de l'Ouenza. Les réserves géologiques sont datées de la fin de l'année 2013, tandis que les réserves exploitables sont actualisées jusqu'à la fin de juin 2013.

Tableau II.1 : État récapitulatif des réserves exploitables actualisées au 30/12/13 (Plan d'exploitation BP, 2014)

Quartier	Réserves(T)	Fe (%)	Stérile(T)	Taux de découverte
ChagouraPic	6 637 049	53,5	26 482 796,30	3,99
ChagouraSud	3 743 695	48,1	9 016 139,50	2,41
ChagouraNord	10 153 035	49,7	21 889 435	2,16
St-Barbe	4 680 303	48,44	19 378 488	4,14
Conglomérat	376 686	46,6	1 779 731	4,72
Douamis	8 425 289	53,9	42 070 918	4,99
Zerga	2 350 266	42,7	2 862 127	1,22

Total	36 366 323	48,99	123 479 635	3,38
-------	---------------	-------	----------------	------

Les ressources minérales situées à l'intérieur de l'enveloppe de la fosse finale sont considérées comme potentiellement extractibles économiquement, et donc elles sont répertoriées comme des "Réserves Exploitable". Les ressources minérales situées à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de cette zone sont répertoriées comme des «Réserves Géologiques ».

Tableau II.2:État récapitulatif des réserves géologiques actualisées au 31/12/2013(FERPHOS,2014)

Quartier	Catégorie B	F e %	Catégorie C1	F e %	Catégorie C2	F e %	Total	F e %
Chagoura Sud	18 307	50	1 810	49	/	/	20117	49
Chagoura Pic	021.5		584.5				606	99
Chagoura Nord	414213.6	50.7	13 254	49	7 041	48.6	20 7106	48.9
SainteBarbe	1 290	47.8	6 837	47.3	4 773	48.6	12 9008	47.8
Conglomérat	1	48.2	4 147790	47	/	/	6 0112	47.4
Hallatif	345172	49.4	3 747581	51.3	838275	50.1	4 9310	51.1
Douamis	6 230	53	50 973	53	/	/	11 3274	53
Zerga	1	43.9	639292	42.7	799114	40.5	3 1964	42.7
Total	30 208	-	35 534	-	13 452	-	79 1953	-
	141.8		872.3		322.8		37	

Nature des substances extraite

Le minerai de fer extrait de la mine d'Ouenza est principalement composé de minerais oxydés de type hématite-limonitique et de sidérites primaires. L'hématite, résultant de l'oxydation de la sidérose, constitue la principale source de minerai de fer exploitée dans la carrière d'Ouenza.

Tout le minerai extrait des mines d'Ouenza est utilisé par le complexe sidérurgique d'El Hadjar dans la wilaya d'Annaba. Ces mines, ainsi que celle de

Boukhadra, sont les seules sources d'approvisionnement en minerai de fer pour le complexe. Une teneur moyenne de 50 % de Fe a été convenue entre le fournisseur de minerai et le consommateur (complexe d'El Hadjar). En raison de l'hétérogénéité de la composition chimique du minerai d'un quartier à l'autre dans le même gisement, la mine est contrainte de fournir un minerai homogénéisé.

Les différents quartiers de la mine d'Ouenza présentent des variations qualitatives du minerai. En plus de cette diversité, ces différents gisements se distinguent également par la quantité de réserves de minerai qu'ils renferment. En fonction de leur teneur en fer, ces réserves ont été regroupées en trois catégories (FERPHOS, 1991):

- un minerai moyennement riche dont la teneur en fer est supérieur à 50 %. Il est essentiellement localisé dans les quartiers de Chagoura Sud, Douamis, Sainte Barbe, Conglomérats et Hallatif;
- un minerai pauvre dont la teneur en fer est comprise entre 40 et 50 % localisé dans les quartiers de Zergaet Chagoura Nord ;
- un minerai très pauvre dont la teneur en fer est inférieur à 40 %. Ce minerai se trouve surtout à Koudiat EsSouda et dans la partie Sud de Sainte Barbe.

II.8.1 Méthode d'exploitation

Le mode d'exploitation utilisé dans les différents quartiers de la mine d'Ouenza est par fonçage avec un seul bord exploitable, sans fermeture complète du contour de la mine. L'exploitation de ces gisements, situés sur un flanc de coteau avec une pente de 35°, se fait de haut en bas. L'extraction du minerai se fait par étapes de 12 à 15 mètres (parfois 18 mètres). L'angle des parois varie de 70 à 80° et la largeur des plates-formes est de 7 à 12 mètres. Selon le plan d'exploitation, la fosse finale aura une profondeur de 620 mètres et l'angle du front de mine sera de 32° (Chain 2006).

En raison des caractéristiques mécaniques des roches et du type d'équipement utilisé pour le chargement des déblais, la hauteur moyenne des étapes est fixée à environ 15 mètres. Les paramètres d'exploitation sont indiqués dans le Tableau II.3.

Tableau II.3 Paramètres d'exploitation de la mine de l'Ouenza.

Paramètres Quartiers	Hauteur des gradins	Nombre de gradins	Inclinaison des talus (en degrés)	Largeur des bermes, m
Zerga	12-18	18	70-80	8-12
Pic	10-15	9	70-80	6
Chagoura Sud	15	22	70-75	8
Chagoua Nord	10-15	12	75-80	8-12
6 Mai	12	22	70-80	6-12

Travaux d'abattage

L'abattage est un facteur essentiel dans le processus d'exploitation, et il est effectué à l'aide de travaux de forage et de tir. Le cycle d'abattage comprend les étapes suivantes:

- Choix de l'emplacement des trous dans le chantier
- Foration des trous
- Chargement des trous par l'explosif
- Tir

Foration

Une fois que l'emplacement de la plateforme à abattre est déterminé selon un plan de forage et de tir préparé par les responsables des quartiers, les trous de mine sont percés

à l'aide de sondes de forage telles que l'Ingersoll Rand 10 (montée sur pneus) et l'Atlas Copco ROC L8. Les trous de forage ont un diamètre de 166 mm, et les estimations de production des sondes sont indiquées dans le tableau II.4.

Tableau II.4 Chiffres prévisionnels de productions des sondeuses (selon BP fait par le bureau méthode, Ouenza,2015).

Machine	Producti on(M/ H)	Heure seffectiv es/an	Rendement(%)	Producti onAnnue lle(T)
IngersollRand10	18	5104	38.86	35 705
AtlasCopcoROC L8		5104	33.5	30 777
Total	36	10 208		66 479

Tir

La fragmentation de la masse rocheuse est réalisée par des tirs d'abattage afin de faciliter l'évacuation du minerai et du stérile. En moyenne, il y a huit cycles par mois pour atteindre la production quotidienne requise. À la mine de l'Ouenza, deux types d'explosifs sont utilisés en combinaison dans chaque trou de mine:

- Anfomyl: contenant dans des sacs
- Marmanite: contenant dans des cartouches

Une fois que les trous sont chargés (Figure II.5) jusqu'à une longueur de charge spécifique, il reste environ 4 à 5,5 mètres pour le bourrage. Les débris rocheux pulvérulents provenant de l'opération de forage sont utilisés comme matériau de bourrage. Dans la dernière étape, les trous de mine de chaque volée sont reliés les uns aux autres à l'aide de cordons détonants. Le tir est déclenché électriquement à l'aide d'un détonateur Schaffler 816.

Si le tir produit de gros blocs difficiles à charger, une opération de fragmentation secondaire est entreprise. Cette situation se produit généralement dans les calcaires où la roche est fracturée mais saine. Les paramètres de tir utilisés dans la mine de l'Ouenza sont récapitulés dans le tableau II.5.

Tableau II.5 Paramètres techniques d'abattage. (selon BP fait par le bureau méthode, Ouenza, 2015).

Les paramètres	Unité	Mesure
Hauteur de gradin (Hg)	m	15
Profondeur de trou (Pt)	m	17
Longueur de Sur Foration (Lsf)	m	2
Ligne de moindre résistance (W)	m	5-6
Angle de talus	Degré	75
Distance entre trous (E)	m	4-5
Nombre de rangées	u	1
consommation spécifique	Kg/m ³	0,5
la charge explosif /trou	Kg	175

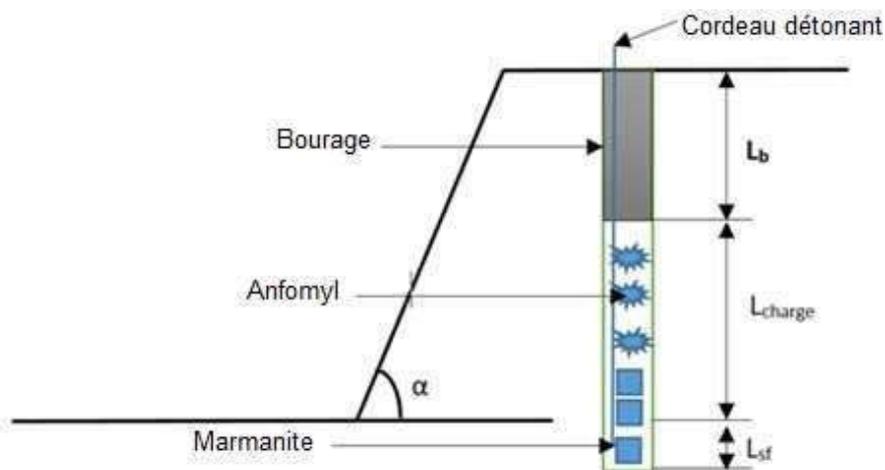


Figure 11.5 Mode de chargement d'un trou de mine (selon BP fait par le bureau méthode, Ouenza, 2015).

Remarque : Les valeurs de ces paramètres ont été récupérées d'un plan de tir primaire exécuté sur les quartiers Chagoura nord et Sud. Ce plan a été réalisé dans le mois d'Août de l'année 2015 par le service d'abattage de la mine de l'Ouenza.

Chargement et transport

Dans À la mine de l'Ouenza, des pelles excavatrices avec une capacité de production estimée à 350 tonnes par heure et des chargeuses avec une capacité de production pouvant atteindre 250 tonnes par heure sont utilisées pour charger les camions de transport avec le minerai brut.

Les moyens de transport qui existent actuellement au niveau de la mine sont:

- Le transport par camion est utilisé dans tous les secteurs de la mine, avec des camions ayant une capacité de charge variant entre 55 et 65 tonnes.

En plus de cela, le transport par convoyeur à bande joue un rôle crucial dans le complexe de l'Ouenza. Il assure également le déplacement des produits finis depuis le concasseur jusqu'aux trémies de chargement situées à la gare.

Le minerai est acheminé vers le concasseur, capable de traiter des blocs de taille inférieure à un mètre. Les prévisions de production des équipements de chargement et de transport sont présentées dans le tableau II.6.

Tableau II.6 : Chiffres prévisionnels de productions des engins de chargement et de transport (selon BP fait par le bureau deméthode, Ouenza,2015).

Engin	Opération	Production(t/h)	Heures effectives/an	Rendement (%)	Production Annuelle(T)
PelleKomatsuPC1100	Chargement	350	8 040	34,5	970
PelleKomatsuPC1250			7 776	34,5	938
Total		700	15 816		1 909
ChargeuseCat988F	Alimentation	250	8 520	39,06	831
ChargeuseCat988H			8 040	44,1	886
Total		1 200	16 560		1 718
DumperCat773D55t	Transport deproduit extrait	100	7 776	30,36	236
DumperCat773E55t			7 776	44,85	348
DumperCat773E55t			7 800	44,85	349
DumperCat773F65t		120	7 776	50,37	470
DumperCat773F65t			8 040	44,85	432
					713
Total		1 200	39 168		1 837
					388

Préparation du minerai

Après l'extraction du minerai des chantiers, il subit uniquement un traitement mécanique qui vise à réduire la taille des blocs afin d'obtenir une granulométrie adaptée aux moyens de transport. Dans la mine de l'Ouenza, il y a deux stations de concassage:

- La première station est située au niveau 803 m équipé par un concasseur à mâchoires, elle est alimentée par les camions venant du quartier Chagoura Sud,Nord et le pic et précédemment du quartier Zerga. Le déchargement se fait dans une trémie de réception de capacité de 450 tonnes.
- La deuxième station de concassage se trouve au niveau 660, à proximité de la gare d'expédition. Cette station est équipée d'un concasseur à cône et est dédiée au quartier Ilot. Parfois, elle est alimentée par le minerai provenant des autres quartiers lorsque le concasseur 830 est hors service. Le déchargement s'effectue dans une trémie de réception pouvant accueillir jusqu'à 200 tonnes.

Les concasseurs sont connectés aux trémies de chargement par des convoyeurs à bande sur une distance de 3000 mètres. Les blocs de minerai acheminés vers le concasseur sont nettement plus petits que la taille maximale requise, car il y a une opération de triage effectuée sur le site. Les blocs hors normes sont mis de côté en vue d'un traitement ultérieur, et les prévisions de production des concasseurs sont présentées dans le Tableau II.7.

Tableau II.7: Production prévisionnel des concasseurs (selon BP fait par le bureau de méthode,Ouenza, 2015)

Appareille	Production (t/h)	Heures effectives /an	Rende ment (%)	Production Annuelle(T)
ConcasseurRL-660	500	5344	35,28	942 682
ConcasseurRL-803		5360	38,08	1 020 544
Total	1 000	10 704		1 963 226

Stériles francs

Le dépôt des stériles sur un terrain voisin de la carrière est appelé mise à terril. Les terrils doivent avoir une capacité adéquate et sont idéalement situés en dehors des zones d'extraction, mais à proximité du site minier. On distingue les terrils intérieurs et extérieurs

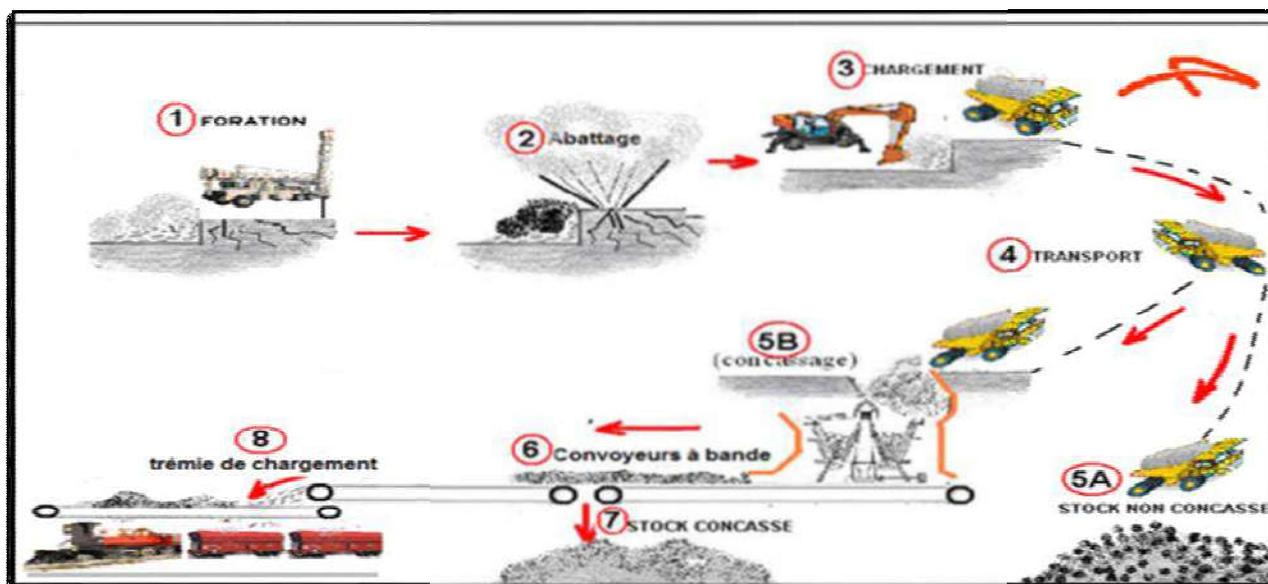


Figure II.6 Schéma représentatif des opérations minières au niveau de complexe de l'Ouenza (Selon BP fait par le bureau méthode Ouenza, 2015).

Paramètres Quartiers	Hauteur des gradins	Nombre de gradins	Inclinaison des talus (en degrés)	Largeur des bermes, m
Zerga	12-18	18	70-80	8-12
Pic	10-15	9	70-80	6
Chagoura Sud	15	22	70-75	8
Chagoua Nord	10-15	12	75-80	8-12
6 Mai	12	22	70-80	6-12

Etat Actuel de la mine

Selon le Bureau d'étude et de développement (BED) de la mine, les chiffres de production indiquent que la mine fonctionne à un rythme moyen par rapport aux objectifs fixés.:

- Minerai extrait: 59%
- Stérile: 32 %
- Minerai Concassé: 53%
- Expédition : 72 %

Le pourcentage de minerai extrait est plus élevé que celui des stériles, alors que selon les normes d'exploitation, cela devrait être l'inverse. Cette non-conformité dans l'exploitation est attribuable à :

- En raison du manque de matériel et de son obsolescence, les ressources disponibles sont exclusivement consacrées à la production de minerai au détriment des déchets.
- De plus, il y a la contrainte de respecter les engagements envers le client Arcelor Métal Annaba (la satisfaction du client étant prioritaire par rapport au développement). Cette stratégie a entraîné un retard considérable dans le développement des stériles, une déformation des niveaux de la carrière (formation de jumelages) rendant leur exploitation ultérieure de plus en plus complexe, ainsi qu'un blocage des réserves exploitables (comme dans le cas du Chagoura Pic-Sud).

Conclusion

Le gisement ferrifère de l'Ouenza est situé sur le flanc nord d'un massif montagneux, s'étendant sur environ 12 km de longueur et 5 km de largeur.

Les Monts de Mellègue, dans cette région, sont des formations géologiques perchées.

La mine de l'Ouenza renferme d'importantes réserves de minerai de fer de haute qualité, avec une teneur moyenne en fer de 53%.

Les réserves de stériles sont beaucoup plus élevées, avec 123 Mt par rapport à 36 Mt de minerai.

Références

- Lazizi Malek., (2012)., La Mine de l'Ouenza Histoire et Avenir., Division Etude et développement Service Géologie., ArcelorMittal Tébessa Mine de l'Ouenza.
- Dubourdiou G. (1956) Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins Algéro-Tunisien). Bull PublServ Carte Géol Algérie 10(1):1–659.
- Masse, J.-P., Thieuloy, J.-P., 1979. Précisions sur l'âge des calcaires et des formations associées de l'Aptien sud-constantinois (Algérie). Conséquences paléogéographiques. Bulletin de la Société géologique de France 7, 21, 1, 65–71.
- Chikhi-Aouimeur, F. (1980). Les rudistes de l'Aptien supérieur du Djebel Ouenza (AlgérieNE). Thèse Troisième Cycle, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, 27.
- Bouzenoune, A. (1993). Minéralisations périadiapiriques de l'Aptien calcaire: les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale) (Doctoral dissertation, Paris 6)
- Othmanine, A. (1987). Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et fer sidéritique autour du fossé de Tebessa-Morsott (Algérie). Relation entre paléogéographie aptienne, diapirisme, structure et métallogénie (Doctoral dissertation, Thèse de 3ème Cycle, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France).
- Thibiéroz, J., & Madre, M. (1976). Le gisement de sidérite du Djebel Ouenza (Algérie) est contrôlé par un golf de la mer aptienne. Bull. Soc. Hist. at. Afrique du nord, Alger, 67, 3-4.
- Smati, A. (1986). Les Gisements de Pb-Ba et de Fe du Jebel Slata (Tunisie du centre nord): minéralisations épigénétiques dans le Crétacé néritique de la bordure d'un Diapir de Trias, gisements de Sidi Amor Ben Salem et de Slata-Fer (Doctoral dissertation, ANRT).
- Madre, M. (1969). Contribution à l'étude géologique et métallogénique du Djebel Ouenza (Est Algérien) (Doctoral dissertation).
- Betier, G., Glangeaud, L., Jouhaud, M., Duplan, L., Hilly, J., Dubourdiou, G., & Juston, F. (1952). Etude sur les gisements de fer de l'Algérie. In Symp. sur les gisements de fer du Monde. XIX eme Congres Géol. Int. Alger (pp. 35-16).
- SOUBIAS, D. (1972). Contribution à l'étude minéralogique et métallogénique des gisements des carbonates des Pyrénées (Doctoral dissertation, Thèse. Univ. Paul Sabatier, Toulouse).

- Mahjoubi, H., & Samama, J. C. (1983). Modèle de concentration supergene d'amas sideritique; le cas du Jebel Jerissa, Tunisie. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7(1), 91-99.
- Rouvier, H., Perthuisot, V., & Mansouri, A. (1985). Pb-Zn deposits and salt bearing diapirs in Southern Europe and North Africa. *Economic Geology*, 80(3), 666-687.
- Pohl, W., Amouri, M., Kolli, O., Scheffer, R., & Zachmann, D. (1986). A new genetic model for the North African metasomatic siderite deposits. *Mineralium Deposita*, 21(3), 228- 233.
- Frimmel, H. (1988). Strontium isotopic evidence for the origin of siderite, ankerite and magnesite mineralizations in the Eastern Alps. *Mineralium Deposita*, 23(4), 268-275.
- Gil PP (1991) Las mineralizaciones de hierro en el anticlinal de Bilbao: Mineralogia, geoquímica y metalogenia. Ph D Thesis University of Pais Vasco, Bilbao.
- Aoudjehane, M., Bouzenoune, A., Rouvier, H., & Thibieroz, J. (1992). Halocinèse et dispositifs d'extrusion de trias dans l'Atlas saharien oriental (NE Algérien). *Géologie Méditerranéenne*, 19(4), 273-286.

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

Introduction

Dans une étude scientifique, la section "Matériel et Méthode" est essentielle car elle décrit les outils, les équipements et les procédures utilisés pour mener à bien la recherche. Cette section fournit aux lecteurs les informations nécessaires pour comprendre comment l'étude a été réalisée et pour reproduire les résultats.

La partie "Matériel" décrit les instruments, les appareils, les réactifs chimiques, ainsi que tout autre équipement spécifique utilisé dans l'étude. Par exemple, dans une expérience de laboratoire, cela peut inclure des équipements tels que des microscopes, des balances, des réfrigérateurs, etc.

La partie "Méthode" décrit les étapes spécifiques suivies pour mener à bien l'étude. Cela comprend les protocoles expérimentaux, les procédures de collecte de données, les analyses... etc. Il est également important d'indiquer les mesures prises pour contrôler les variables indépendantes, les éventuelles limites de l'étude et les méthodes utilisées pour minimiser les biais.

Echantillonnage

L'échantillonnage est une étape cruciale dans de nombreuses études et recherches, car il consiste à sélectionner un sous-ensemble représentatif d'une population ou d'un ensemble de données plus large. L'échantillonnage permet d'obtenir des informations sur l'ensemble en examinant seulement une partie de celui-ci, ce qui peut être plus pratique, plus économique et plus rapide que d'analyser la totalité de la population.

Prélèvement des échantillons de de concentre et rejets de fer

Quatre échantillons de rejet de fer ont été pris à partir du stock du rejet. Le premier est sélectionné à partir de la superficie du terril, le deuxième du fond-situe à l'Ouest du terril, le troisième de fond situe à l'Est et finalement le quatrième du fond situé en bas du même terril.

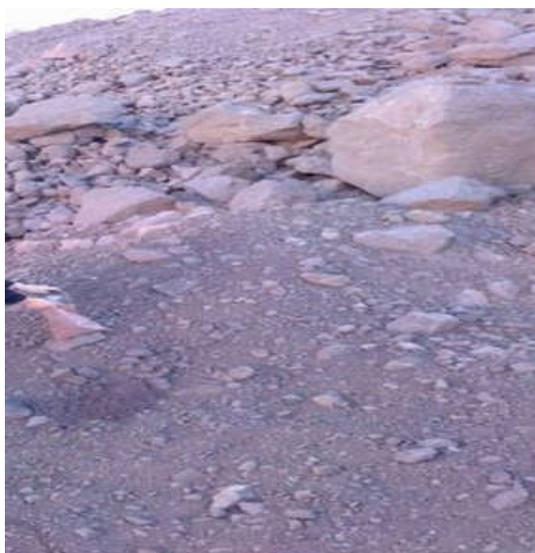


Figure III.1 terril de rejets de fer de la mine d'el-Ouenza

En ce qui concerne les échantillons du concentré de fer, ces derniers ont été fournis par les responsables de la mine.

Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est une méthode utilisée pour déterminer la répartition des tailles des particules présentes dans un échantillon solide ou granulaire. Cette analyse est couramment utilisée dans les domaines de la géologie, de la géotechnique, de la métallurgie, de l'industrie chimique et dans d'autres disciplines liées aux matériaux.

La méthode de l'analyse granulométrique peut varier en fonction de la nature de l'échantillon et des objectifs de l'étude, mais elle suit généralement les étapes suivantes :

- Préparation de l'échantillon ;
- Tamisage ;
- Pesée des fractions ;
- Analyse des résultats.

Méthode d'analyse

Concassage

Le concassage est un processus utilisé pour réduire la taille des matériaux solides en les soumettant à une force mécanique intense. Cette opération est couramment utilisée dans l'industrie minière, la construction, le recyclage des déchets et d'autres domaines où la réduction de la taille des matériaux est nécessaire.

Dans notre étude le concasseur utilisé est un concasseur à mâchoire (figure III.2). Le concassage est effectué au sein de laboratoire de la mine d'El- Ouenza afin de concasser et de réduire la taille des morceaux de fer jusqu'à 4mm.

Le concasseur à mâchoires est un type d'équipement de concassage couramment utilisé dans l'industrie minière, la construction et d'autres secteurs pour réduire la taille des matériaux. Il est principalement utilisé pour concasser les roches et les minerais durs.



Figure III.2 : concasseur utilisé

Broyage

Le broyage est un processus utilisé pour réduire la taille des particules solides en les soumettant à des forces mécaniques intenses. Il est largement utilisé dans de nombreuses industries, y compris l'industrie minière, l'industrie chimique, l'industrie alimentaire et l'industrie pharmaceutique. Le broyage est réalisé pour diverses raisons, telles que l'obtention de particules de taille spécifique, la libération des minéraux dans les minerais, l'amélioration de la réactivité chimique des matériaux, ou encore la préparation d'échantillons pour des analyses ultérieures.

Dans la présente étude, nous avons utilisé un broyeur à disque (figure III.3). Cette opération est réalisée au sien de laboratoire de la mine d'el-Ouenza afin de réduire la taille des particules de nos échantillons.



Figure III.3 : Broyeur a disque utilisé

Division

Afin d'obtenir une très bonne représentativité de nos échantillons, un diviseur a été utilisé.

Un diviseur d'échantillons, également connu sous le nom de diviseur à riffles ou de diviseur à cônes, est un dispositif utilisé pour diviser un échantillon en fractions plus petites, tout en maintenant la représentativité de l'échantillon initial. C'est un outil couramment utilisé dans les laboratoires et les industries pour prélever des sous-échantillons à des fins d'analyse ou de tests.

Dans notre étude nous avons utilisé un diviseur à riffle (figure III.4). Cette étape a été réalisée au niveau de laboratoire de la mine d'el-Ouenza. Cette dernière consiste à passer dans le diviseur les 4 échantillons du minerai de fer (concentre et rejet) afin d'obtenir 16 échantillons représentatifs.



Figure III.4 : Diviseur utilisé

Après l'opération de tamisage, les échantillons ont été séchés à l'aide d'une étuve ajustée à une température de 105° , puis ils ont été refroidis à l'air ambiant.

Pour effectuer le quartage, on mélange tous les échantillons, puis on les divise à 8 parties (figure III.5). L'opération est répétée 3 fois pour assurer l'homogénéisation.



Figure III.5 : opération de quartage

Tamisaie

Le tamisaie est une méthode de séparation des particules solides en fonction de leur taille. Le tamisaie permet de trier les particules en les faisant passer à travers des tamis de différentes tailles de mailles, ce qui permet de les classer en fractions granulométriques spécifiques.

Pour cela, 7 tamis ont été choisis pour réaliser le tamisaie de nos échantillons. La figure III.6 représente l'opération de tamisaie. Les dimensions des tamis sont représentées dans le tableau III.1. Les échantillons étudiés sont versés en haut de colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide d'une tamiseuse pendant 20min. Cette opération a été réalisée au niveau de laboratoire de l'université.



Figure III.6 : Tamis utilisés pour le tamisaie des échantillons

Tableau III.1 : tamis utilisés pour le tamisage

N°	Module	Dimensions des Tamis (μm)
1	28	500
2	27	400
3	25	250
4	24	200
5	22	125
6	21	100

Analyses chimiques

Les analyses chimiques sont des techniques utilisées pour déterminer la composition chimique et les propriétés d'un échantillon. Ces analyses sont largement utilisées dans de nombreux domaines, tels que la recherche scientifique, l'industrie chimique, l'agriculture, l'environnement et bien d'autres encore.

Description de l'analyse

1. On pèse 0.25 g de chaque échantillon de granulométrie différente.
 2. On introduit chaque échantillon dans un récipient contenant du HCL, ensuite on le chauffe jusqu'à 80° pendant 20 minutes.
 3. Après, une réduction avec SND2, la solution devient transparente et sans couleur.
 4. Un refroidissement avec 100 ml l'eau distillé.
 5. Ensuite ; on ajoute 10ml de HgCl_2 , 10 ml H_3PO_4 , et 10 gouttes de diphenglanten (un colorant de titrage).
 6. On ajoute des gouttes du $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dans un agitateur magnétique (Figure III.7) jusqu'à point d'équivalence.
 7. En fin, On calcule le % du fer dans les rejets du fer.
- L'opération a été répétée 3 fois pour tous les échantillons.



Figure III.7 : Agitateur magnétique

Séparation magnétique

La séparation magnétique est une méthode utilisée pour séparer les particules ou les matériaux en fonction de leurs propriétés magnétiques. Cette technique est couramment utilisée dans divers domaines tels que l'industrie minière, l'industrie métallurgique, l'industrie alimentaire, l'industrie chimique et le recyclage. La séparation magnétique repose sur l'interaction entre un champ magnétique et les propriétés magnétiques des matériaux.

La séparation magnétique à haute intensité (SMHI) est une technique avancée de séparation magnétique qui utilise des champs magnétiques intenses pour réaliser une séparation plus efficace des particules magnétiques des matériaux non magnétiques (e.g. Hématite). Cette méthode est souvent utilisée lorsque des particules fines ou des matériaux à faible teneur en éléments magnétiques doivent être séparés avec une grande précision.

Dans la présente étude, nous avons utilisé un séparateur magnétique à haute intensité par voie sèche (figure III.8) inventé par des chercheurs du centre de recherche en technologies industrielles situé à El-Hadjar, wilaya d'Annaba.



Figure III.8 : séparateur (SMHI) inventé utilisé

Après séparation; les particules non-magnétiques sont évacuées dans la partie inférieure du séparateur et elles sont collectées dans le bac des particules non-magnétiques, tandis que les particules magnétiques récupérées sont évacuées dans le bac des magnétiques. En fin de séparation, Les échantillons (magnétiques et non magnétiques) sont pesés et analysés afin d'obtenir une composition chimique

Analyse après séparation

L'analyse par FRX (Fluorescence des rayons X) est une technique d'analyse chimique utilisée pour déterminer la composition élémentaire d'un échantillon. Elle est basée sur le principe de l'émission de rayons X caractéristiques par les atomes d'un matériau lorsqu'ils sont excités par une source d'énergie, généralement un tube à rayons X.

Ces analyses par FRX sont effectuées au sien de laboratoire du centre de recherche en technologies industrielles situé à El-Hadjar, wilaya d'Annaba. L'appareil utilisé pour cet objectif est un appareil de type Bruker (figure III.9)



Figure III.9 : Appareil de FRX utilisé

Conclusion

En conclusion, cette étude a souligné l'importance de la section "Matériel et Méthode" dans une recherche scientifique, qui fournit des informations essentielles sur les outils, les équipements et les procédures utilisés.

L'échantillonnage a été identifié comme une étape cruciale permettant d'obtenir des informations représentatives à partir d'un sous-ensemble de la population ou de l'ensemble de données plus large.

L'analyse granulométrique a été réalisée pour déterminer la répartition des tailles des particules dans les échantillons solides. Les étapes de concassage, de broyage et de division ont été effectuées pour obtenir des échantillons représentatifs. Le tamisage a été utilisé pour trier les particules en fonction de leur taille en utilisant des tamis de différentes tailles de mailles.

Les analyses chimiques ont été réalisées pour déterminer la composition chimique des échantillons.

Enfin, la séparation magnétique à haute intensité a été utilisée pour séparer les particules magnétiques des particules non magnétiques dans les échantillons. Les particules récupérées ont été pesées et analysées par fluorescence des rayons X pour obtenir leur composition chimique.

CHAPITRE IV

RESULTATS & DISCUSSIONS

Introduction

Les résultats et discussions constituent une partie essentielle de tout rapport ou article de recherche. Cette section permet de présenter et d'interpréter les données collectées, d'évaluer les hypothèses formulées et de discuter de leur pertinence par rapport à la problématique de recherche. Dans cette section, nous allons examiner de près les résultats obtenus et les analyser en profondeur, en les mettant en relation avec la littérature existante et en proposant des explications ou des interprétations basées sur nos observations.

Pour commencer, nous présenterons les résultats obtenus, en utilisant des graphiques, des tableaux ou d'autres outils visuels pour illustrer les données de manière claire et concise. Nous discuterons ensuite des tendances et des modèles observés, en soulignant les résultats significatifs.

Une fois que nous avons présenté les résultats, nous entamons la discussion proprement dite. Dans cette partie, nous comparons nos résultats avec les travaux antérieurs et discutons des similitudes, des divergences ou des contradictions éventuelles. Nous évaluons également nos résultats par rapport aux hypothèses formulées au départ et analysons les facteurs qui pourraient expliquer les écarts observés.

Analyses granulométriques

Dans cette partie, nous présenterons les résultats issus des mesures granulométriques du concentré et des rejets de fer. Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux et les figures ci-dessous.



Figure IV.1 Résultat de tamisage du : A) concentré et B) rejet de fer d'el-Ouenza

- Méthode de calcul :

Masse totale = 765.5 g

$$765.5 \text{-----} > 100\%$$

$$0.6\text{g} \text{.....} > x$$

$$X1 = 0.6\text{g} * 100 / 765.5 = 0.078\%$$

$$X2 = 0.7\text{g} * 100 / 765.5 = 0.091\%$$

$$X3 = 11.4 \text{ g} * 100 / 765.5 = 1.489\%$$

$$X4 = 10.8 * 100 / 765.5 = 1.410 \%$$

$$X5 = 48.9 * 100 / 765.5 = 6.387\%$$

$$X6 = 343 * 100 / 765.5 = 44.80\%$$

$$X7 = 347 * 100 / 765.5 = 45.32\%$$

Le tableau IV.1 et IV.2 représentent les analyses granulométriques du concentré et des rejets du fer d'el-Ouenza.

Tableau IV.1 : Analyse granulométrique du concentré du fer d'el-Ouenza

N° de tamis	Tranche Granulométrie (µm)	Masse de refus en (g)	Rendement pondéral %	Refus Cumulé %	Passant Cumulé %
1	>500	0.6	0.078	0.078	99.75
2	500-400	0.7	0.091	0.169	99.49
3	400-250	11.4	1.489	1.658	99.40
4	250-200	10.8	1.410	3.068	97.99
5	200-125	48.9	6.387	9.455	91.60
6	125-100	343	44.80	54.52	46.80
7	<100	347	45.32	99.57	1.48

Tableau IV.2: Analyse granulométrique du rejet du fer d'el-Ouenza

N° de tamis	Tranche Granulométrie (µm)	Masse de refus en (g)	Rendement pondéral %	Refus Cumulé %	Passant Cumulé %
1	>500	0.7	0.149	0.149	99.53
2	500-400	1.1	0.234	0.383	99.381
3	400-250	8.9	1.898	2.281	99.147
4	250-200	14.5	3.092	5.373	97.249
5	200-125	89.6	19.1	24.473	94.151
6	125-100	88.6	19.89	42.363	75.261
7	<100	263.4	56.17	99.53	19.09

Les figures IV.2 et IV.3 illustrent les courbes granulométriques du concentré et du rejet du fer d'el-Ouenza

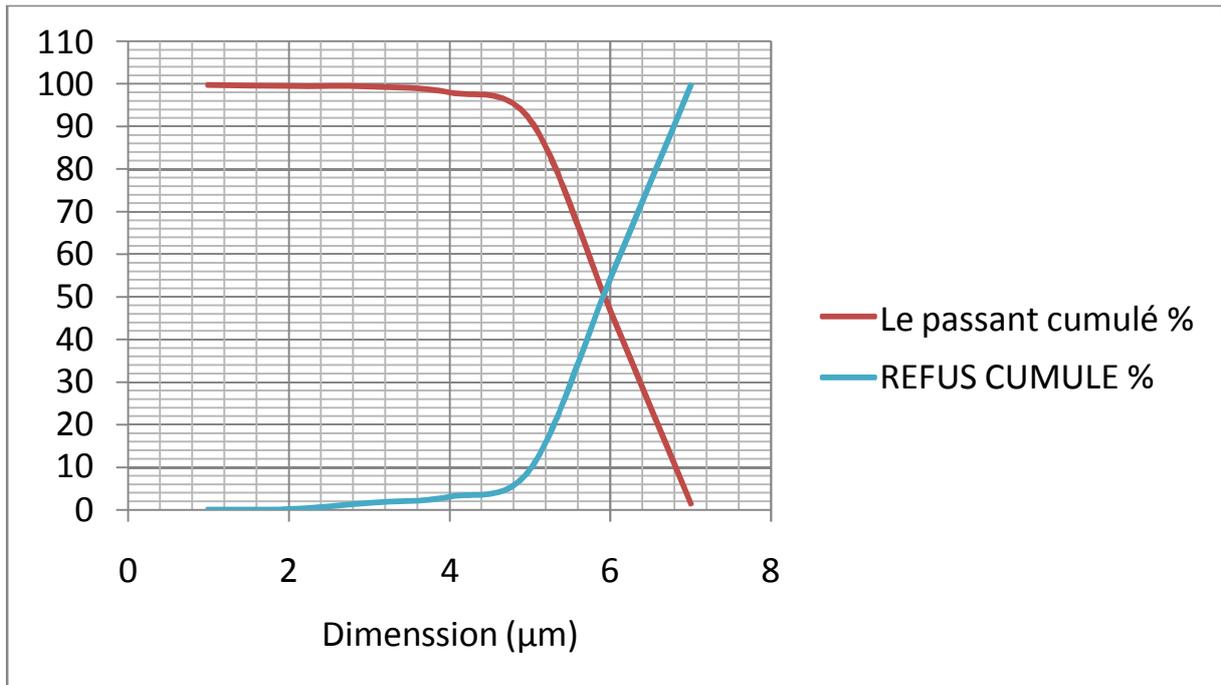


Figure IV.2 : Courbe d'analyse du concentré du fer d'el-Ouenza

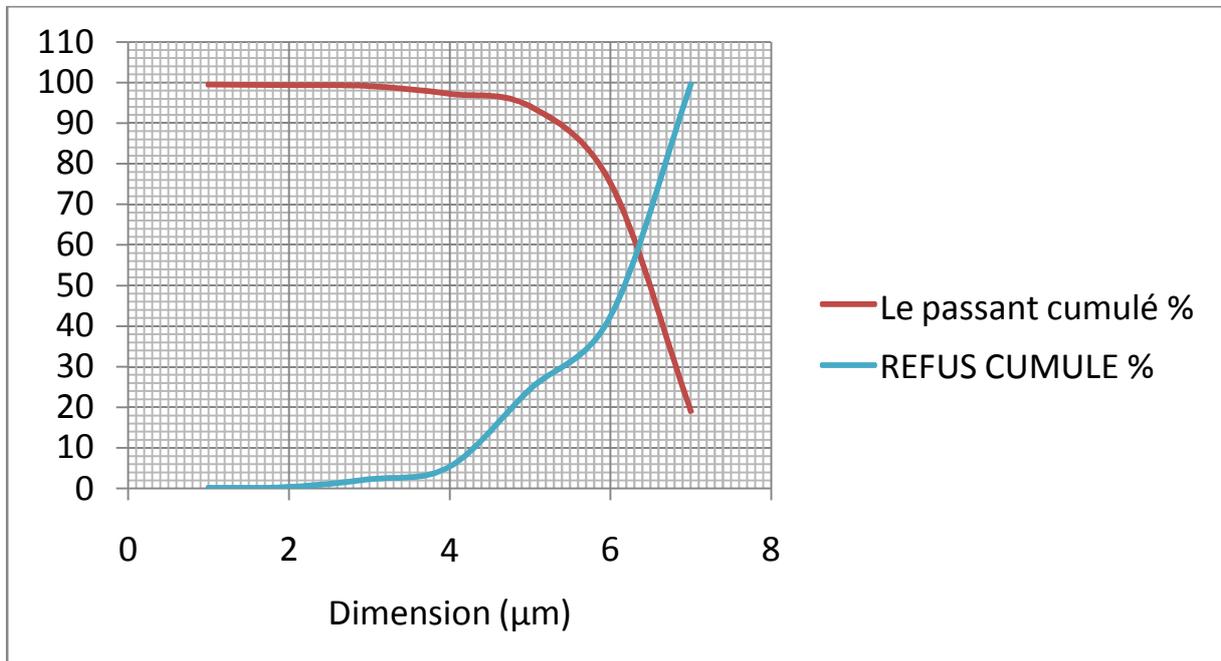


Figure IV.2 : Courbe d'analyse du rejet du fer d'el-Ouenza

Les résultats des analyses granulométriques du concentré et de rejet du fer indiquent la présence des particules de tailles très fines.

Un diamètre D_{80} signifie que des particules au-dessous desquels se trouve 80% en masse de toute la population. Les courbes granulométriques du concentré et de rejet de fer présente un diamètre (D_{80}) d'environ $125\mu\text{m}$.

: Analyse chimique

Les échantillons du concentré et du rejet de fer tamisés ont été analysés par la voie chimique au niveau de laboratoire de l'usine d'el-Ouenza. Chaque tranche granulométrique (figure IV.3) a été préparée et emballée dans un sachet conditionnée afin de les analyser au laboratoire. Les résultats obtenus sont listés dans le tableau IV.3.



Figure IV.3 : préparation des tranches granulométriques aux analyses chimiques

A) Concentrés B) : rejets

Tableau IV.3 : Analyses granulochimiques du concentré et de rejet de fer d'el-Ouenza

Tranche granulométrique (µm)	Teneur en fer dans le concentré %	Teneur en fer dans le rejet %
>500	35.79	14.26
500-400	43.54	16.56
400-250	46.6	16.79
250-200	47.88	18.86
200-125	53.58	19.32
125-100	60.42	20.24
<100	62.47	20.93

Suivant les résultats obtenus, on remarque que le fer est présent dans toutes les tranches granulométriques avec des teneurs variables. On constate également que lorsque les dimensions des particules diminuent, la présence de fer augmente (par exemple : à moins de 100µm on trouve plus 62% de fer dans le concentré du fer, tandis que pour le rejet on trouve environ 21% de fer

Il est intéressant de mettre en valeur ce type de rejet vu d'une valorisation par un procédé de séparation magnétique à haute intensité afin d'améliorer sa qualité et d'augmenter sa teneur en fer.

IV. 3 Séparation magnétique

Pour des raisons quantitatives et qualitatives, nous avons décidé de sélectionner les tranches granulométriques inférieures à 125 µm du rejet de fer. Ces tranches, qui contiennent une concentration plus élevée de fer (comme indiqué dans la Figure IV.3), ont été soumises à un processus de valorisation à l'aide d'un séparateur magnétique à haute intensité. Pour chaque tranche, environ 10 g d'échantillon ont été utilisés dans l'étude. Après séparation on a obtenu 3 produits non-magnétiques et 3 produits magnétiques (figure IV.4). Ces produits ont été analysés afin de déterminer la teneur en fer dans chaque tranche granulométrique.

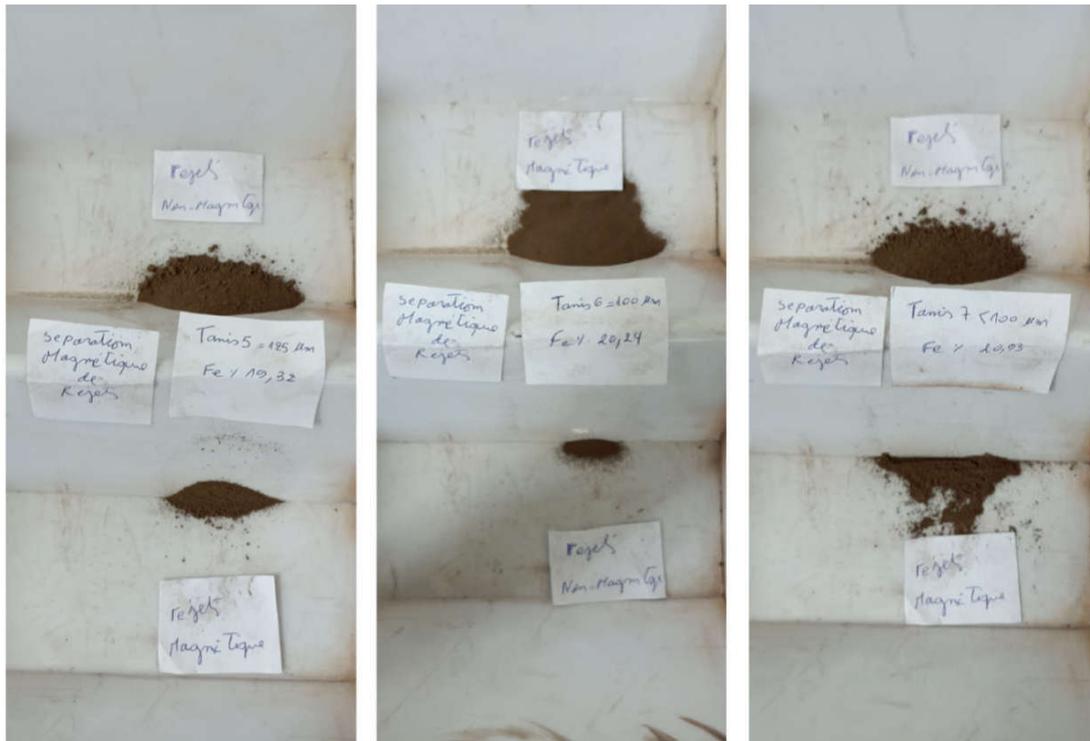


Figure IV.4 : produits issus de la séparation magnétique

IV.4 Résultat de la séparation magnétique

D'une manière générale, la rentabilité du minerai est principalement déterminée par sa teneur en fer. Un minerai est considéré comme rentable s'il présente une teneur supérieure à 54%, ce qui signifie qu'il n'a besoin que d'être calibré pour être commercialisé, sans nécessiter d'autres traitements. En revanche, un minerai est considéré comme non rentable s'il présente une teneur en fer inférieure à 54%, ce qui nécessite sa valorisation afin de le rendre commercialisable.

Le tableau IV.4 présente les produits obtenus après séparation magnétique et leurs poids ainsi que leurs rendements.

On remarque que le rendement le plus élevé des produits magnétique qui est notre rejet de fer enrichi) est situé dans la tranche de moins de 100µm. par contre on peut remarquer également que le rendement le plus faible est enregistré dans la tranche grossière (200-125µm) qui est d'environ 35,65%.

Tableau IV.4 : Produits obtenus après séparation magnétique (poids et rendements)

Tranches (μm)	Poids (g)	Magnétique (g)	Non magnétique (g)	Rendement % du produit magnétique
200-125	10.88	3.90	6.97	35.65
125-100	10.59	4.13	5.90	39
<100	10,43	5.22	5.15	50.33

La figure IV.5 représente la courbe des rendements des produits obtenus à partir de la séparation magnétique, et il est clairement observé que lorsque les dimensions des particules diminuent, le rendement du produit magnétique augmente.

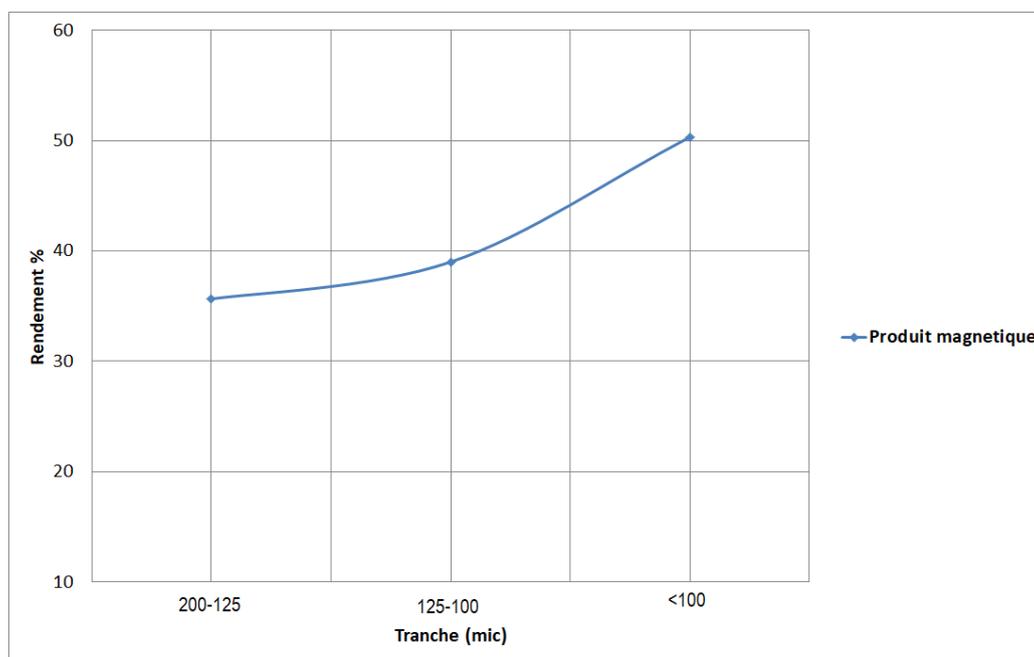


Figure IV.5 : Rendement des produits magnétiques en fonction des tranches granulométriques

Les analyses chimiques par XRF sur les produits magnétiques obtenus après séparation magnétique sont listés dans le tableau IV.5.

Tableau IV.5 : analyses chimiques des produits magnétiques issus de la séparation magnétique (%)

Tranche (µm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO	P ₂ O ₅	BaSO ₄
200-125	4.93	1.22	48.57	0.05	3.45	0.38	7.15	0.10	--
125-100	4.54	1.19	50.12	0.06	3.80	0.52	7.84	0.12	0.02
<100	4.43	1.20	53.71	0.03	3.78	0.36	6.93	0.08	0.01

D'après les données présentées dans le tableau IV.5, il est possible de conclure que la teneur en fer a été considérablement augmentée dans tous les produits magnétiques obtenus grâce à la séparation magnétique à haute intensité. La valeur la plus élevée a été observée dans le produit magnétique dont la granulométrie est inférieure à 100 µm, avec une teneur d'environ 53,71% en fer. Cette teneur est très proche de celle du minerai riche en fer. Pour les deux autres produits, dont la granulométrie est de 125-100 et 200-125, des teneurs plus ou moins similaires à celle du produit inférieur à 100 µm ont été enregistrées.

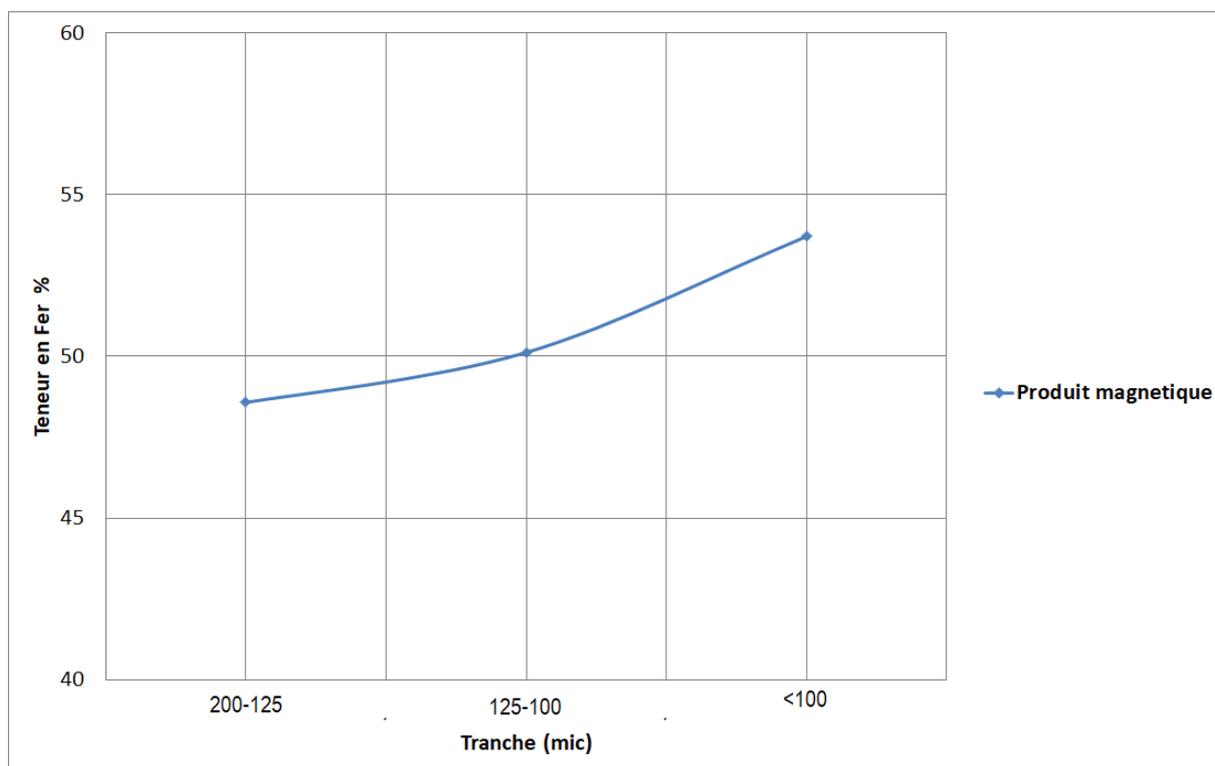


Figure IV.6 :Teneurs en fer récupérées dans les produits magnétiques en fonction des tranches granulométriques

D'après la courbe illustrée dans la figure IV.6, une observation supplémentaire peut être faite : à mesure que la taille des particules des résidus de fer diminue, la récupération de fer augmente.

Conclusion

Grâce aux résultats de cette étude, l'utilisation d'un séparateur magnétique à haute intensité semble efficace pour valoriser les rejets de fer de la mine d'el-Ouenza. D'après les analyses chimiques obtenues, on constate que la teneur en fer dans les rejets a augmenté dans les trois tranches granulométriques, dont la plus élevée a été enregistrée dans la tranche de moins de 100 μ m.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

En conclusion, cette étude nous a permis de mettre en évidence plusieurs informations importantes concernant les analyses granulométriques, les analyses chimiques et la séparation magnétique du rejet de fer étudié.

Les analyses granulométriques ont révélé la présence de particules de tailles fines dans le concentré et les rejets de fer. Les courbes granulométriques ont montré un diamètre (D80) d'environ 125 μ m pour le concentré et les rejets.

Les analyses chimiques ont démontré la présence de fer dans toutes les tranches granulométriques, avec des teneurs variables. Il a été observé que la présence de fer augmente lorsque les dimensions des particules diminuent.

La séparation magnétique a été effectuée sur les tranches granulométriques inférieures à 125 μ m du rejet de fer, qui contenaient une concentration plus élevée de fer. Les résultats ont montré que la rentabilité du minerai dépend de sa teneur en fer, avec un seuil de rentabilité fixé à 54%. Les produits magnétiques obtenus après séparation magnétique ont présenté des rendements variables, avec le rendement le plus élevé enregistré dans la tranche de moins de 100 μ m.

Les analyses chimiques des produits magnétiques ont révélé une augmentation significative de la teneur en fer grâce à la séparation magnétique à haute intensité. La valeur la plus élevée a été observée dans le produit magnétique de granulométrie inférieure à 100 μ m, avec une teneur d'environ 53,71% en fer.

En résumé, les résultats obtenus ont démontré l'efficacité de la séparation magnétique à haute intensité pour valoriser les rejets de fer et augmenter sa teneur en fer. Ces résultats suggèrent l'importance d'envisager une valorisation du rejet de fer enrichi par ce procédé afin de le rendre commercialisable. Les conclusions tirées de ces analyses peuvent contribuer à l'optimisation des procédés de traitement du rejet de fer et à l'amélioration de son rendement économique.