



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة
Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des Mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département Mines Et Géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie minier

Option : Valorisation des ressources minérale

Elaboration d'un Schéma Technologique Quantitatif et Qualitatif du minerai de fer Pauvre de L'OUENZA

Par

1-Maalem Warda

2-Boukhari Ismahene

Devant le jury :

AOUATI Mourad Salim	Président	M.A.A	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
AMIRECH Abdelkrim	Encadreur	M.A.A	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
KRIM Mansour	Examineur	M.C.B	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Année universitaire 2025/2026



Année universitaire : 2025/2026 Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 - Maalem Warda

2 - Boukhari Ismahene

Niveau : année Master Option : Valorisation des ressources minérales

Thème : Elaboration d'un Schéma Technologique Quantitatif Qualitatif du minerai de fer Pauvre de VOUEU

Nom et prénom de l'encadreur : Abdelkrim AMIRECH

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Introduction Générale	
CHAPITRE 1 : Géologie du gisement de fer de l'Ouenza.	
CHAPITRE 2 : Généralités sur le minerai de fer.	
CHAPITRE 3 : Techniques d'enrichissement du minerai de fer dans le monde.	
CHAPITRE 4 : Étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza.	
Conclusion	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه

السيد (ة) بوخاري إسمهان الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : طالب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 406489821 و الصادرة بتاريخ 2023.07.27

المسجل بمعهد المناجم - تبسة قسم الجيوتكنولوجيا

و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة مستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

**Elaboration d'un Schéma Technologique Quantitatif Qualitatif
du minerai de fer Pauvre de L'OUENZA**

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

02 جوان 2026

التاريخ:

إمضاء المعني (ة)

.....
العلم

.....
مكتبة الوزارة الجزائرية

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) معلم وردة الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : طالب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 413049980 و الصادرة بتاريخ 2024.10.14

المسجل بمعهد المناجم - تبسة قسم الجيوتكنولوجيا

و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

**Elaboration d`un Schéma Technologique Quantitatif Qualitatif
du minerai de fer Pauvre de L`OUENZA**

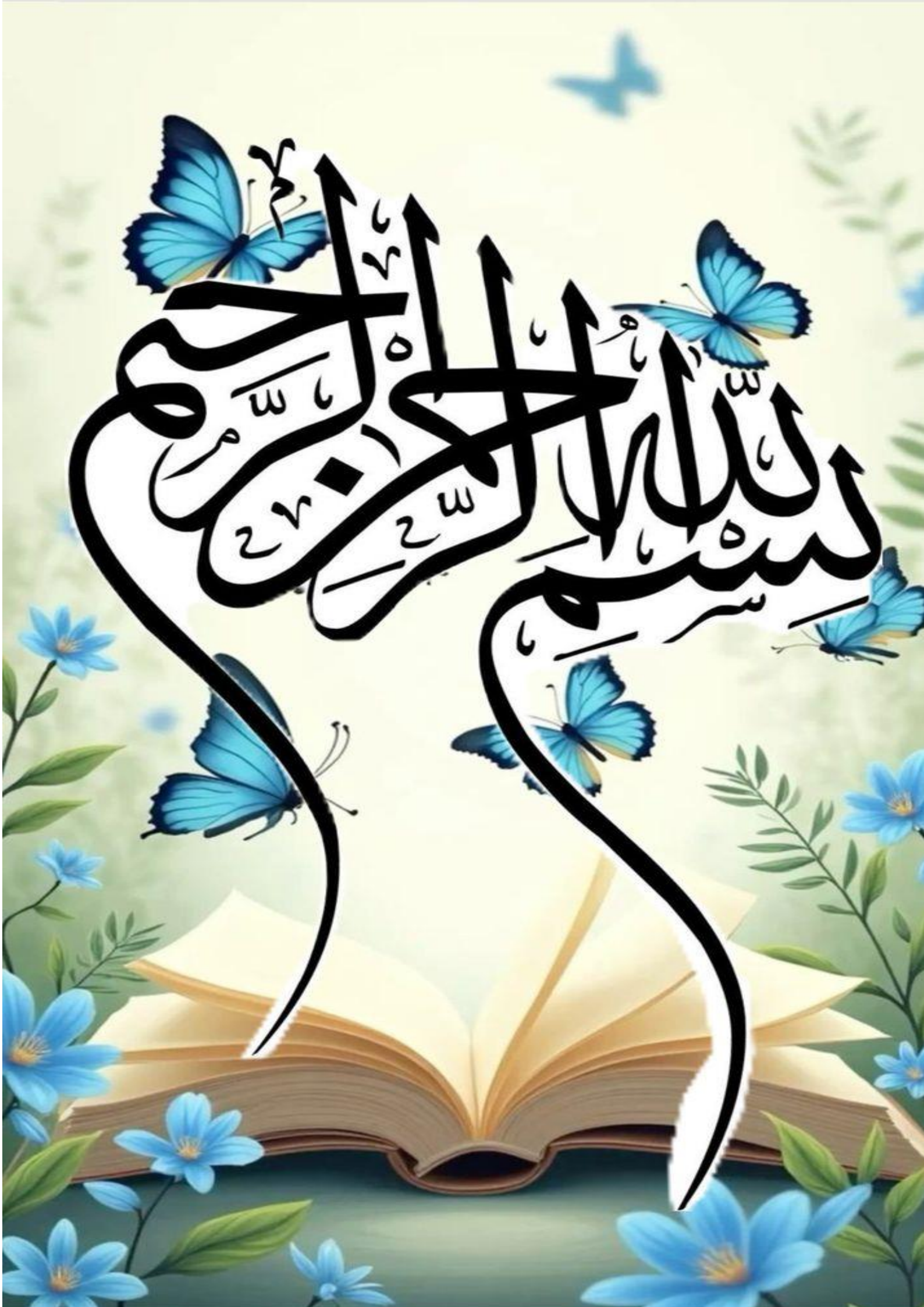
أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 02 جوان 2026...

إمضاء المعني (ة)

معلم وردة
02 جوان 2026

Medusa
الذي يتقويف منه
سياتون
الطابع الدفتر



Remerciements

En préambule à ce mémoire, qui constitue l'aboutissement de longues et laborieuses années d'études universitaires, je rends grâce à DIEU, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la force, le courage et la persévérance nécessaires pour surmonter les difficultés et mener à bien ce travail.

Ce mémoire est le fruit de nombreuses contributions, tant sur le plan scientifique, intellectuel que technique

- ❖ Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce projet.
- ❖ J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur, Monsieur **AMIRECH Abdelkrim**, pour la confiance qu'il m'a accordée, son accompagnement tout au long de ce travail, sa disponibilité, ses conseils avisés, ainsi que sa patience, qui m'ont permis d'aboutir à ce modeste travail.
- ❖ Je remercie également l'ensemble des enseignants du département de génie des mines, ainsi que le personnel de la bibliothèque de notre université, pour leur aide précieuse et leur soutien.

Enfin, je tiens à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail



التفكير



Dédicace

Avec tout mon amour et ma gratitude, je dédie ce modeste travail à mes chers parents, en témoignage de reconnaissance pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours

- ❖ À mon frère et à ma sœur, merci pour vos encouragements et votre présence à mes côtés dans les moments les plus difficiles.
- ❖ À ma chère grand-mère, qu'Allah lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.
- ❖ Et à la professeure **BEN AYAD SABRINE**, qui a exercé une grande influence sur moi par son soutien et ses précieux conseils depuis que j'étais son élève.
- ❖ Et à moi-même... qui ai persévéré, lutté et surmonté toutes les difficultés pour atteindre ce moment don't j'ai toujours rêvé.

Alhamdoulillah, aujourd'hui et pour toujours

ISMAHENE

Résumé

Ce travail porte sur une étude complète du minerai de fer pauvre du gisement d'Ouenza, qui constitue l'une des principales sources d'approvisionnement du complexe sidérurgique d'El Hadjar en matières premières, en raison de son importance stratégique pour l'industrie sidérurgique en Algérie. L'étude commence par une présentation générale du minerai de fer, mettant en évidence son importance économique et industrielle ainsi que ses principales utilisations dans la production de l'acier, tout en décrivant ses caractéristiques chimiques et minéralogiques qui déterminent la qualité de la matière première, notamment la teneur en fer et la présence d'impuretés telles que la silice et le calcaire. Ensuite, une étude géologique détaillée du gisement d'Ouenza est réalisée, à travers l'analyse de la structure géologique et des formations rocheuses renfermant la minéralisation ferrifère, ainsi que les conditions de formation et de répartition des minerais dans les couches géologiques.

Le travail présente les principales technologies d'enrichissement du minerai de fer utilisées dans le monde, visant à améliorer la qualité du minerai et à augmenter sa teneur en fer, telles que la séparation magnétique, la flottation et le grillage magnétique, tout en comparant leur efficacité selon la nature du minerai. Le chapitre relatif à la préparation mécanique décrit les différentes étapes préliminaires du traitement du minerai, notamment le concassage, le broyage et le criblage, qui sont indispensables pour préparer le minerai aux opérations de concentration. Enfin, une schématisation de traitement est proposée, basée principalement sur la séparation magnétique à faible intensité après grillage magnétique, comme technique efficace permettant d'augmenter la teneur en fer, de réduire les impuretés, et d'améliorer ainsi le rendement d'extraction et la qualité du produit final destiné à l'industrie sidérurgique.

Abstract

This work presents a comprehensive study of the iron ore from the Ouenza deposit, which is one of the main suppliers of raw materials to the El Hadjar steel complex, due to its strategic importance for the steel industry in Algeria. The study begins with a general overview of iron ore, highlighting its economic and industrial significance as well as its main applications in steel production, while also describing its chemical and mineralogical characteristics that determine the quality of the raw material, particularly iron content and the presence of impurities such as silica and limestone. A detailed geological study of the Ouenza deposit is then carried out, analyzing the geological structure and rock formations hosting the iron mineralization, as well as the formation conditions and distribution of ores within the geological layers.

Furthermore, the work presents the main iron ore beneficiation technologies used worldwide, aimed at improving ore quality and increasing iron content, such as magnetic separation, flotation, and magnetic roasting, while comparing their effectiveness depending on ore type. The mechanical preparation chapter describes the preliminary stages of ore processing, including crushing, grinding, and screening, which are essential to prepare the ore for subsequent concentration operations. Finally, a proposed processing scheme is introduced, mainly based on low-intensity magnetic separation after magnetic roasting, as an effective technique to increase iron content, reduce impurities, and thus improve both recovery efficiency and the quality of the final product intended for the steel industry.

ملخص

يتناول هذا العمل دراسة شاملة لخام الحديد بمنجم ونزة، الذي يُعد من أهم المصادر الرئيسية لتزويد مركب الحجار للصلب بالمواد الأولية، نظراً لدوره الحيوي في دعم الصناعة الحديدية في الجزائر. يبدأ البحث بتقديم نظرة عامة حول خام الحديد من حيث أهميته الاقتصادية والصناعية واستخداماته المتعددة في إنتاج الصلب، إضافة إلى إبراز خصائصه الكيميائية والمعدنية التي تحدد جودة المادة الخام، خاصة نسبة الحديد ووجود الشوائب مثل السيليكا والكالسيت. كما تم التطرق إلى دراسة جيولوجية مفصلة لمنطقة ونزة، من خلال تحليل البنية الجيولوجية والتكوينات الصخرية التي تحتضن التمدنات الحديدية، مع توضيح ظروف تشكلها وتوزيعها داخل الطبقات الجيولوجية.

بعد ذلك، يعرض العمل أهم التقنيات المستعملة عالمياً في إثراء خام الحديد، والتي تهدف إلى تحسين جودة الخام ورفع نسبة الحديد فيه، مثل الفصل المغناطيسي، التعويم، والتحميص المغناطيسي، مع مقارنة بين فعاليتها حسب طبيعة الخام. كما يشرح الفصل الخاص بالتحضير الميكانيكي مختلف المراحل الأولية لمعالجة الخام، والتي تشمل التكسير، السحق، الغريلة والطحن، حيث تعتبر هذه العمليات ضرورية لتحويل الخام إلى حبيبات مناسبة لعمليات التركيز اللاحقة. وفي الأخير، يقترح البحث مخطط معالجة يعتمد أساساً على الفصل المغناطيسي منخفض الشدة بعد التحميص المغناطيسي، باعتباره تقنية فعالة لزيادة نسبة الحديد وتقليل الشوائب، مما يسمح بتحسين مردود الاستخلاص ورفع جودة المنتج النهائي الموجه للصناعة.

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE 1 : Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

figure 1 : Photo représentant le gisement ferrifère de l'Ouenza

figure 2 : mine de l'Ouenza en avril 1966

figure 3: Situation géographique de la ville de l'Ouenza (image Google earth d'une altitude de 220,01km)

figure4: Carte géologique et structurale de la région de l'Ouenza

figure 5: *carte géologique du quartier chagoura nord*

figure 6: carte géologique du quartier chagoura pic

figure 7: carte géologique du quartier chagoura sud

figure 8: carte géologique du quartier ilot/6mai

figure 9: Gisements de fer de l'Ouenza

figure 10: Coupe dans la structure anticlinale du gisement de l'Ouenza

figure 11: Collection de Roches & Minéraux: Oxyde et Hydroxyde - mine de l'Ouenz

figure 12:La sondeuse INGERSOLL-R(T4BH900HR4) en travail de mine de l'Ouenza.

figure 13:Schéma des trous de la mine de l'Ouenza

figure 14:Le tir de la mine de l'Ouenza

figure 15:camion CATERPILLAR type775F

figure 16:la chargeuse CATERPILLAR TYPE988 H

figure 17:Processus d'exploitation de minerai de fer dans la mine de l'Ouenza.

figure 18:Schéma technologique d'extraction et de préparation du minerai de fer de l'Ouenza.

figure 19:Schéma de préparation mécanique des échantillons pour analyse granulométrique et chimique .

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

figure 1:Structure de la pyrite Jaune.

figure 2:Pyrite - mine de Batère, Orientales gris : Fe²⁺.

figure 3:Sidérite – Carrière du Rivet , Tarn – (12×7cm)

figure 4:Sidérite taillée– Minas Gerais ,Brésil

figure 5:magnetite

figure 6:Structure cristalline de la Magnétite

figure 7:Hématite (Rose de fer)-Batère France

figure 8:Graphique des plus grands pays producteurs de fer de 2013 à 2021

figure 9:L`evolution de la production d`acier entre 1950 et 2016

figure 10:Production arabe du minerai fer en 2015

figure 11:Cartes des principaux gisements

figure 12: Les réserves de minerai de fer dans le monde en 2019.

figure 13:evolution du prix du minerai de fer (USD/Tonne) sur le marché international

CHAPITRE 3: Technologie d`enrichissement du minerai de fer dans le monde

figure.1: Schéma de traitement des minerais de fer (hématite brune) : RUSSIE

figure.2:Schéma de traitement des minerais de fer oxydent Russisa

figure.3: Schéma de traitement des minerais hématiques : France

figure 4: Minerai brut 3 Goethite

figure .5: Minerai grillé

CHAPITRE 4:étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l`Ouenza

figure 1: a. Séparateur magnétique à base intensité en voie sèche à tambour,

b. Séparateur magnétique croisé

figure 2 : Séparateurs magnétiques à tambour humide.

figure 3 : Séparateur magnétique à haute intensité en voie sèche à rotor induit

figure 4 : Acides utilisées pour l`analyse

figure 5:Schéma de preparation mécanique

figure 6 :caractéristique granulométrique du produit brut(1).

figure 7: caractéristique granulométrique du produit N°4

figure 8 : caractéristique granulométrique du produit N°5.

figure 9: Courbe de l`analyse granulométrique de produit N°7

figure 10: Courbe de l`analyse granulométrique de produit N°8

figure 11 : Schéma de broyage et choix des équipements.

Figure 12:Schéma de Séparation magnetique

LISTES DES TABLEAU

CHAPITRE 1 : Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

Tableau 1 :Composition chimique moyenne du minerai de l'Ouenza.

Tableau 2 : réserves géologiques au 30 /09/2025.

Tableau 3 : réserves exploitables au 30 /09/2025.

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

Tableau1:Valeur moyenne du coefficient de dureté du minerai de fer de l'Ouenza.

Tableau2:Valeur de masse volumique du minerai de fer de l'Ouenza.

Tableau 3:Caractéristique des minerais de fer carbonates

Tableau4:Caractéristique des minerais de fer oxydés

Tableau 5 :Caractéristique des minerais de fer silicatés

Tableau 6 :Caractéristique des minerais de fer sulfurés

Tableau 7 :Composition chimique et différentes teneur en oxydes .

Tableau 8 :Quelques caractéristiques et composition chimique des minerais de fer Algériens.

Tableau 9 :Liste des plus grands pays producteurs de fer De 2013 à 2019.

Tableau10: L'évolution de la production du minerai de fer dans le monde arabe.

Tableau 11 :La production du minerai de fer en Algérie ($\times 10^3$).

Tableau12 :Les plus grandes réserves de minerai de fer dans le monde en 2019 (en Millions de tonnes).

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

Tableau 1: Proportion de quelques éléments alliés

Tableau2:Conditions et pourcentages des éléments dans différentes qualités d'aciers.

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

Tableau 1 : analyse de tamisage du TV

Tableau 2 : grosseur relative du produit concassé

Tableau 3 : Caractéristiques des concasseurs d'après les calculs.

Tableau 4 : Paramètre de concasseur à mâchoires à double effet CMD 6 x 9 et concasseur à cône à concassage intermédiaire CCCI.

Tableau 5 : Caractéristique granulométrique du produit N°4

Tableau 6 : Caractéristique de grosseur du produit 5.

Tableau 7:Caractéristique granulométrique de grosseur de produit N°7

Tableau 8 : Caractéristique granulométrique de produit N°8

Tableau 9 : Les Caractéristiques technique des cribles choisis.

Tableau 10 : Caractéristiques technique des broyeurs choisis.

Tableau 11 : Caractéristiques de classificateur (Type : 1 CSI20).

Tableau 12 : choix d'équipement de concassage et de broyage

SOMMAIRE

résumé

abstract

ملخص

listes des figures

listes des tableau

sommaire

Introduction général	01
CHAPITRE 1 : Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza	
Introduction	04
1- Historique de la mine de L`ouenza	05
1-1- Importance de la Mine de L`ouenza	06
2-Situation et cadre géographique	07
3-Présentation de l`entreprise	08
3-1-Arcelor Mittal Tébessa	08
4-Géologie de la région du Djebel l'Ouenza	09
4-1- Minéralisation.....	09
4-2- Hydrologie et Hydrogéologie.....	10
4-3-Caractéristique particulière du gisement.....	11
5-Cadre géologique et lithostratigraphique	11
5-1-Trias	11
5-1-Jurassique.....	12
5-3Crétacé	13
5-3-1- Barrémien.....	13
5-3-2-Aptien	13
6-Aperçu géologique sur les quartiers de la mine de l'Ouenza.....	14
6-1-Quartier Chagoura Nord	14
6-2-Quartier Chagoura Sud-Pic.....	15
6-3-Quartier 6 mai (îlot).....	16
6-4-Quartiers Douamis et Hallatif	17
6-5- Quartie Zerga.....	18

7-Nature de gisement.....	19
7-1-Morphologie et structure de gisement.....	19
8-Composition chimique du minerai.....	20
9-Prospection et état des réserves	20
9-1-Les réserves géologiques au 30/09/2025.....	20
9-2-Les réserves exploitables au 30/09/ 2025	21
10-Les oxydes et les hydroxydes de fer.....	21
10-1- la limonite.....	21
10-2-l'hématite (Fe ₂ O ₃).....	21
10-3- La goethite (FeOOH).....	22
11-Méthode d'exploitation du gisement de fer de l'Ouenza.....	24
11-1-Accès d'ouverture du gisement.....	25
11-1-1-La découverte.....	25
11-1-2-Mise à terril.....	25
11-1-3-L'ouverture du gisement.....	25
11-2-Travaux de forage et de tir	26
11-2-1-Abattage	26
11-2-2-L'Abattage à l'explosif.....	26
11-2-3-Travaux de Forage	26
11-2-4-Sondage (Forage)	26
11-2-5-Le tir.....	27
11-2-5-1-définition du tir.....	27
11-2-5-2-définition des explosifs.....	27
11-2-5-3-Les démarches à suivre pour réaliser le tir	28
11-3-Travaux de chargement et de transport.....	29
11-3-1-Travaux de chargement.....	29
11-3-2- Travaux de transport.....	30
11-4-Traitement mécanique.....	31
12-Préparation mécanique du minerai de fer de l'Ouenza.....	32
Conclusion.....	35
CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer	
Introduction.....	38

1-Définition	38
2-Géologie de gisement	39
2-1 –Quartzites ferrugineux.....	39
2-2 -Gisements associés.....	40
2-3-Minerais de ségrégation dans les roches acides	41
2-4 -Minerais de fer oolithiques.....	42
3 -Les propriétés du minerai de fer.....	42
3-1-propriétés physiques et technologiques du minerai	44
4 -Classification des minerais de fer.....	45
4-1-Par rapport à leur teneur en fer.....	45
4-2-Les principaux minerais de fer	45
4-2-1- Les sulfures.....	45
4-2-2-Les carbonates	47
4-2-3-Les oxydes.....	48
5-Caractéristiques des différents types des minerais de fer	50
5-1-Minerais de fer carbonatés.....	50
5-2-Minerais de fer oxydé.....	51
5-3-Minerais de fer silicaté.....	52
5-4-Minerais de fers sulfurés.....	53
6-Caractéristiques du minerai	53
7-La composition chimique de minerai de fer	54
8 -Production de minerai de fer.....	55
8-1-Dans le monde.....	55
8-2-La production d`àacier entre 1950 et 2016	58
8-3-Dans le monde arabe.....	58
8-4 -En Algérie.....	60
9-Les ressources minérales en Algérie	60
10-Les réserves en minerai de fer	61
10-1-Les réserves du minerai de fer au niveau national	61
10-2-Les réserves en minerai de fer au niveau mondial.....	62
11- Le prix du minerai de fer.....	63
12-Utilisation du fer dans le monde.....	64

13-La consommation du minerai de fer.....	66
13-1-Au niveau national.....	66
13-1-1-Complexe d'El Hadjar.....	66
13-1-2 -Complexe Bellara.....	66

Conclusion.....68

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

Introduction 70

1-Procèdes d'enrichissement du minerai de fer	70
1-1-Séparation magnétique.....	70
1-2- Séparation électrostatique.....	71
1-3- Séparation gravimétrique.....	71
1-4- Séparation par flottation.....	71
2- Traitement de minerai de fer	72
2-1-Libération et classement	72
2-2-Valorisation de différents types de minerai de fer.....	73
2-2-1- Valorisation des mineraishématite brune.....	73
2-2-2-Valorisation des minerais de fer des quartzites oxydés	73
2-2-3-Valorisation du minerai de magnétite.....	74
3-Exemple de schémas de traitement de minerai de fer.....	74
4-Métallurgie de minerai de fer	78
4-1- Grillage.....	78
4-1-1-Principe du grillage.....	78
5-L'influence des éléments nuisibles composante le minerai de fer sur la fabrication d'acier	80
5-1-Approche sur les éléments nuisibles et ces effets.....	80
Conclusion.....	84

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

Introduction.....	85
A- Schémas Proposé Quantitative de minerai de fer de l'Ouenza.....	86
1-Calcul du Schémas Proposé de préparation mécanique	86
2-Calcul du schéma de concassage et de broyage et choix des équipements	87

2-1-Données de départ	87
2-2-Elaboration du schéma de préparation mécanique.....	87
2-3-Calcul final du schéma de concassage et choix des équipements.....	92
2-4-Choix final de concasseur du premier étage.....	97
2-5-Calcul de l'opération du criblage	101
2-6-Calcul du schéma de l'atelier du broyage et choix des équipements.....	104
2-7-Calcul de classificateurs.....	108
2-8-Mise en règle du calcul.....	110
B- Schémas Proposé Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza.....	111
3-Types de séparateur magnétique	111
3-1-séparateurs magnétique à basse intensité (SMBI)	111
3-2-séparateurs magnétique à haute intensité (SMHI)	113
4-généralités sur le grillage magnétisant.....	114
5- principe du grillage magnétisant.....	114
6- réactions chimiques du grillage magnétisant.....	114
7-l'echantillonnage.....	115
7-1-prélèvement des échantillons	115
7-2- préparationdes échantillons.....	116
8-Analyse chimique	116
9-Calcul du Schémas Proposé de Séparation magnétique	118
10-Calcul le rendement massique de Séparation magnétique.....	119
11-Calcul le Teneur de Séparation magnétique.....	119
Conclusion.....	121

Conclusion générale

Introduction

générale

Introduction générale

Introduction générale

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

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

Tout le minerai de fer du gîte de l'Ouena est en effet encaissé dans les calcaires aptiens.

Les réserves géologiques, jusque là mal connues, étaient de 75 et 20 millions de tonnes respectivement pour les gisements de l'Ouenza et Boukhadr). Elles dépasseraient les 100 millions de tonnes pour Ouenza . Ces réserves de la mine de Ouenza en minerai moyennement riche (teneur en Fe >50%) ont été estimées à presque 50 millions de tonnes . Avec le développement des moyens d'exploitation, la production annuelle n'a cessé d'augmenter entraînant ainsi l'épuisement des réserves facilement accessibles . Afin de garantir l'approvisionnement en fer de l'usine d'El Hadjar d'une part et de prolonger l'activité des centres miniers de Ouenza et de Boukhadra d'autre part, de nouveaux quartiers ont été ouverts et du minerai à plus basse teneur a été exploité.

La plus grande partie des réserves en minerai oxydé ayant été exploitée, il est opportun d'intéresser davantage au minerai carbonaté situé sous le niveau hydrostatique

Introduction générale

(altitude 555 m). En effet, la morphologie des corps minéralisés, leurs dimensions et leurs extensions en profondeur ainsi que la minéralogie et le Ohimisme du minerai demeurent mal connus. Des gisements similaires, Djerissa en Tunisie et Bilbao en Espagne, ont d'ailleurs été exploités pour leur minerai carbonaté . Une éventuelle exploitation du minerai carbonaté à l' Ouenza et Boukhadra nécessite que des tests d'enrichissement soient réalisés avant de passer à une étude plus détaillée permettant une meilleure connaissance du minerai.

Le premier chapitre est consacré à l'étude géologique du gisement de fer de l'Ouenza. Il présente la situation géographique du gisement, son cadre géologique, sa minéralisation, ses caractéristiques structurales ainsi que les méthodes d'exploitation appliquées dans la mine.

Le deuxième chapitre traite des généralités sur le minerai de fer. Il aborde les différents types de minerais de fer, leurs propriétés physiques et chimiques, leur classification, leurs réserves ainsi que leur importance économique et industrielle à l'échelle nationale et mondiale.

Le troisième chapitre est consacré aux technologies d'enrichissement du minerai de fer utilisées dans le monde. Il présente les principaux procédés de traitement et de concentration tels que la séparation magnétique, la flottation, la séparation gravimétrique et le grillage magnétisant, ainsi que leur domaine d'application.

Enfin, le quatrième chapitre porte sur l'étude quantitative et qualitative du minerai de fer de l'Ouenza. Il comprend les calculs de préparation mécanique, le choix des équipements, l'élaboration d'un schéma de traitement ainsi que l'étude de la séparation magnétique afin de proposer une méthode adaptée à la valorisation de ce minerai.

Ce travail vise ainsi à contribuer à l'amélioration de la valorisation du minerai de fer pauvre de l'Ouenza et à l'optimisation de son exploitation pour répondre aux besoins de l'industrie sidérurgique nationale.

CHAPITRE 1

Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

Introduction :

Le minerai de fer est considéré parmi les substances les plus exploitables dans le monde entier, plusieurs mines Algérienne s'intéresse à l'extraction de ce minerai. Le complexe minier de djebel l'Ouenza (Wilaya de Tébessa) est la première unité de production du minerai de fer en Algérie. La principale activité de la société est la production du produit marchand de ce minerai et leurs commercialisations par chemin de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de la Wilaya de Annaba.

La mine d'el Ouenza est la plus grande mine d'Algérie avec une réserve de 120 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 55% en moyenne. C'est une unité de production de EN FERPHOS (entreprise national du fer et du phosphate) crée par le décret 82-448 du 16juillet 1983.

Avant de procéder à l'exploitation du gisement de fer de l'Ouenza, il est nécessaire de mettre en évidence la valeur industrielle de ce gisement en se basant sur les études géologiques régionales et locales, sur sa formation et sur ses structures géologiques.[1]



Figure 1 : Photo représentant le gisement ferrifère de l'Ouenza

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

1- Historique de la mine de l'ouenza

Avant d'entrer dans la phase de production on va présenter la mine de L'OUENZA débutant par un petit historique.

La mine de l'Ouenza est l'une des plus anciennes mines d'Algérie. Elle fût le fleuron de l'industrie minière en Algérie au début du siècle précédent.

Bien que le gisement de l'Ouenza fût depuis l'époque romaine comme le témoigne les vestiges existants (les galeries) au niveau des cartiers (DOUAMIS et HALLATIF), cette exploitation concerner le cuivre, mais ce n'est que vers 1875 que le gisement de fer de l'Ouenza entre dans l'histoire, et depuis, l'intérêt pour ces gisements de fer s'est accru. En effet en 1875 l'ingénieur des mines TISSOT signala l'importance des effleurements de minerai de fer de l'Ouenza.

En 1878 le premier permis de recherche de fer de l'Ouenza.

En 1901 le prospecteur PASCAL obtient la concession de Djebel Ouenza.

En 1913 constitution de la société de l'Ouenza française.

En 1921 début de l'exploitation.

La fin de la seconde guerre mondiale, l'exploitation s'est intensifiée considérablement avec l'introduction de la grosse mécanisation et surtout en raison de la forte demande des sidérurgistes européens en vertu de ses qualités exceptionnelles.

En 1966 nationalisation des mines pour devenir la SONAREM (Société Nationale de Recherche et Exploitation Minière) qui deviendra par la suite FERPHOS (Entreprise Nationale du Fer et du Phosphate) après la restructuration de 1983. Avec le départ massif des cadres européens n'avait en aucun cas ravis la place traditionnelle du minerai de l'Ouenza sur le marché international de même qu'elle n'a pas empêché la mine de Constantine sa mission de production grâce a la volonté de ses travailleurs qui ont su relever le défi.

En 1967 début d'aménagement des installations du skip pour le déblocage du minerai en provenance de la partie amont du gisement.

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

En 1970 achèvement des travaux du skip.

En 2001, un premier contrat de partenariat avec une firme étrangère fût signé. Il s'agit d'une entreprise Indienne ISPAT.

Ce partenariat s'est développé en 2006 avec l'accaparement des actions d'Arcelor par le groupe Mittal Steel détenteur de l'entreprise indienne ISPAT. Une OPA qui donna naissance au groupe Arcelor Mittal détenteur de 70% des actions de la mine de l'Ouenza contre 30% uniquement pour FERPHOS.

En Octobre 2013, l'état algérien a repris le contrôle de la mine en achetant 21% des actions d'ARCELOR MITTAL dans la mine de l'Ouenza pour devenir majoritaire à hauteur de 51% et 49% pour Arcelor Mittal.

En 2016 MINE DE FER DE L'EST (l'état algérien) a repris le contrôle de la mine a100%. [1]

1-1-importance de la mine de l'ouenza

Le gisement de fer de l'Ouenza constitue la principale source d'approvisionnement en minerai de fer de la sidérurgie nationale. Les trois quarts de la consommation du complexe sidérurgique d'El Hadjar, au temps du groupe SIDER, viennent de la Mine de l'Ouenza, cela en faisant abstraction de la production de la Mine de Boukhadra, qui vient en second lieu.

Donc il tient un rôle très important dans l'économie algérienne, de part sa contribution au développement de l'industrie lourde dans le pays et spécialement dans la Wilaya en ce qui concerne l'emploi. [2]

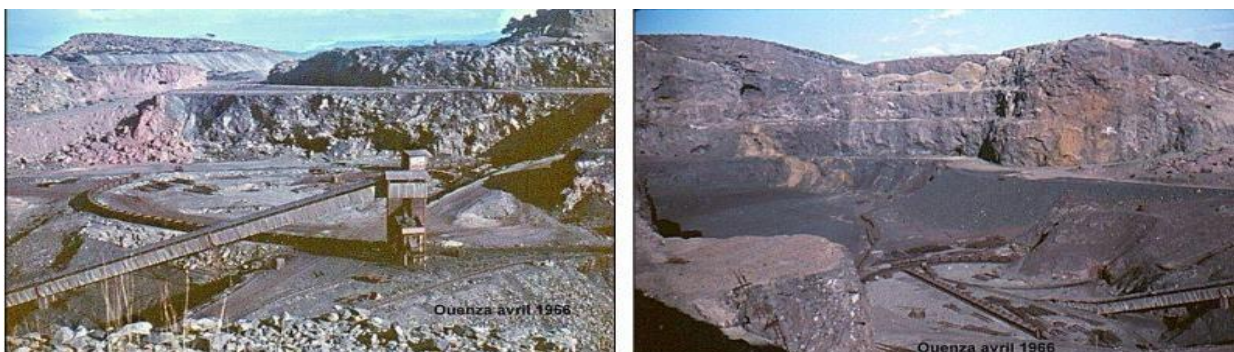


Figure 2 : mine de l'Ouenza en avril 1966

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

2-Situation et cadre géographique

La Daïra de l'Ouenza se trouve à 90km au nord du chef lieu de la Wilaya de Tébessa. Elle est située à 120 kilomètres au Sud-sud-est d'Annaba. Elle est aussi limitée à l'est par la frontière Algéro-tunisienne et au nord par la wilaya de Souk-Ahras, et est limitée par deux oueds appelés respectivement « Oued Mellegue » et « Oued Kseub ». Elle est reliée à Annaba par la route nationale N°82B et une voie ferroviaire par laquelle est acheminée toute la production de l'unité de l'Ouenza vers l'installation portière ou elle serait expédiée vers le complexe sidérurgique d'El-Hadjar.

Le gisement ferrifère de l'Ouenza repose sur le flanc nord d'un massif montagneux qui culmine à 1288m au niveau du pic, il est d'environ 12km de longueur sur 5km de largeur. Les amas métallifères se présentent sous la forme de mamelons grossièrement elliptiques. Ils comprennent successivement du nord-est au sud-ouest : le coudiat Douamis, le Coudiat Hallatif, la région des conglomérats, le quartier Sainte-barbe, le gisement de Chagoura et le coudiat Zerga. Le minerai affleure sur des longueurs atteignant parfois 250 mètres et des hauteurs de 45 mètres, réalisant les conditions types pour l'exploitation à ciel ouvert.[1]



Figure3: Situation géographique de la ville de l'Ouenza (image Google earth d'une altitude de 220,01km)

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

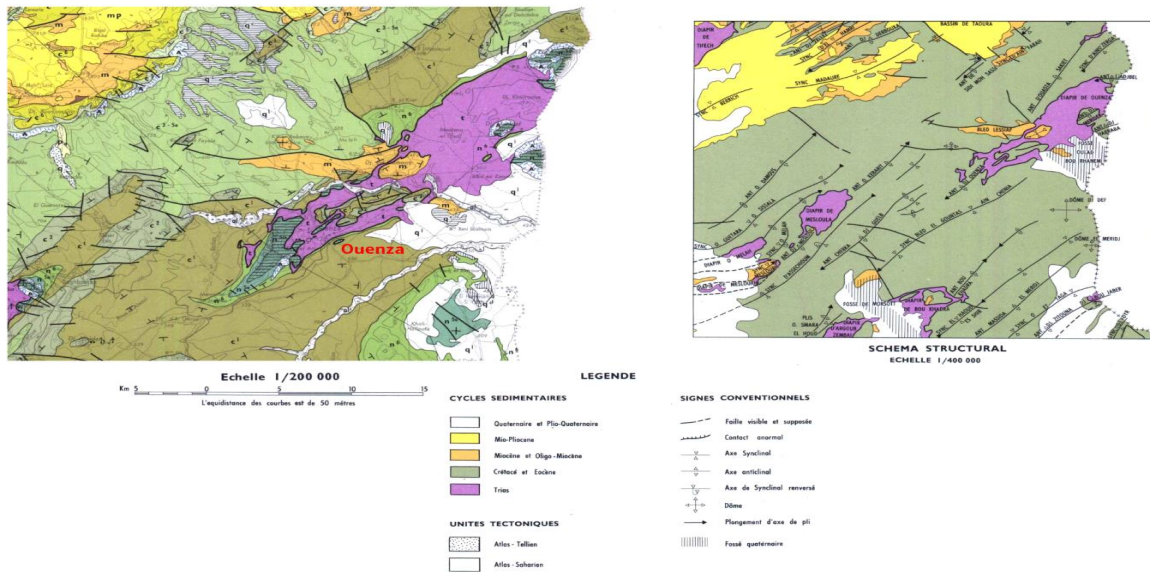


Figure4: Carte géologique et structurale de la région de l'Ouenza

3-Présentation de l'entreprise

Arcelor Mittal est un groupe sidérurgique mondial. Son siège social est installé à

Luxembourg. Il est le plus important producteur d'acier au monde, avec 97,03 millions de tonnes produites en 2017.

En 2013, le groupe employait 239000 salariés dans plus de 60 pays, dont environ la moitié en Europe.[2]

3-1-ARCELOR MITTAL TÉBESSA

C'est une société «joint-venture» entre Arcelor Mittal majoritaire (de 70% des actions) et Ferphos (de 30% des actions). Sa capacité de production annuelle est de 2 millions de tonnes de minerai de fer et elle envisage d'augmenter sa production dans les années à venir à 3 millions tonnes.

Arcelor Mittal Tébessa est le principal fournisseur du complexe sidérurgique d'ElHadjar (Arcelor Mittal Annaba) en minerai de fer, composées de deux mines : la mine de l'Ouenza et Boukhara.[2]

4-Géologie de la région du Djebel l'Ouenza

L'histoire des recherches au niveau du Djebel Ouenza remonte à l'année d'attribution du premier permis de recherche en 1878. C'est après la deuxième guerre mondiale qu'elles ont atteint leur apogée, plusieurs millions de mètres linéaires de sondage furent exécutés et plusieurs niveaux de galeries creusés. C'est durant cette période que de nouveaux quartiers furent découverts. Afin d'un éventuel accroissement des réserves, la nouvelle direction qui a pris récemment les commandes de la Mine, envisage de relancer les campagnes de recherches.[3]

4-1- minéralisation:

Les minerais sont constitués essentiellement d'hématite qui résulte de l'oxydation des amas de sidérose et de pyrite (carbonates situés sous le niveau hydrostatique (Bouzenoune, 1993).Le carbonate provient lui-même de la métasomathose des calcaires récifaux de l'aptien par des venues minéralisantes sulfureuses. Les hydroxydes de fer sont le résultat de la désagrégation de l'hématite. L'hématite exploitée se présente soit sous forme pulvérulente de couleur bleue ou noire rougeâtre, soit en masse terne sans cristaux apparents ou encore en masses homogènes mais laissant apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté. Une série d'intermédiaire entre le minerai primaire et celui secondaire constitue une part importante dans les réserves de la mine. Outre, le minerai de fer, il faut signaler une faible présence de minéralisation poly métallique (Pb, Cu), le long de la faille du pic.

Notons enfin que les concentrations ferrifères considérées comme les plus importantes en Algérie et le patrimoine minéralogique de la région de l'Ouenza est très riche et varié : Gypse (Saccharoïde et fer de lance), barytine (feuilletée et massive) Quartz (parfois d'une pureté exceptionnelle et offrant des cristaux d'une rare régularité), pyrite, Fluorine (en cristaux blancs ou violets) calcite et Aragonite sous diverses formes et particulièrement en stalactite et stalagmite), Azurite, malachite. La goethite forme des encroûtements à surface mamelonnée, La limonite (souvent associée à la goethite), la sidérite et l'ankérite qui montrent souvent un aspect bréchi.

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

Des minéralisations polymétalliques à Cu-Pb-Zn-Ba-F, d'ordre économique, sont signalées dans certains secteurs du massif (quartiers Hallatif et Douamis). Ces gîtes sont généralement encaissés dans les calcaires à caractère récifal de l'Aptien : "Calcaires à milioles".

La liste sus citée ne pourrait pas être exhaustive et une étude microscopique généralisée sur tout le gisement en déceler d'autres.[3]

4-2- hydrologie et hydrogéologie:

Le comportement hydrogéologique des terrains existants à Ouenza se résume comme suit :

- Les terrains triasiques contenant du gypse et du sel, du fait de leur hétérogénéité, sont perméables. Les eaux qui y circulent deviennent saumâtres et ne peuvent convenir qu'à l'utilisation industrielle
- Les calcaires s'ils sont fissurés permettent l'infiltration des eaux et même leur circulation.
- Les marnes qui forment malheureusement la plus grande surface affleurant dans la région sont imperméables et toute les eaux de pluie ruissellent ou s'évaporent.
- Les intercalations calcaires peu épaisses ne permettent pas le captage que d'une quantité infime d'eau.
- Les terrains quaternaires toujours peu épais n'ont de ce fait aucune importance hydrogéologique.
- Les aquifères connus à l'Ouenza sont : Douamis (descenderie de captage ZI) et Conglomérat (descenderie de captage ZII) qui forment probablement un seul bassin aquifère. Les surfaces respectives d'impluvium sont de 20 à 40 ha, pour une pluviométrie annuelle de 400mm d'eau. Douamis à elle seule reçoit 80000 m³ et les autres chantiers 16000 m³. À Douamis, où le coefficient d'infiltration est compris entre 13.4% et 20% (détermination expérimentale ancienne) seuls 10000 à 16000 m³ peuvent s'yinfiltrer.

En dehors de la source thermale de Hammam Sidi Yahia et de quelques suintements à la base des grès miocènes et de quelques sources dans les oueds, les points d'eau naturelle sont rares. La ville de l'Ouenza est alimentée récemment par le sondage d'Ain Chania. La mine pour ses besoins en eau potable des chantiers puisent celle-ci du sondage de souda.[3]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

4-3-caractéristique particulière du gisement:

Des particularités géologiques du gisement on peut citer :

- La grande variabilité de la qualité surtout celle du corps du minerai localisés dans le flanc Nord Ouest du grand anticlinal. Mais un soupçon de régularité se décèle dans les quartiers de l'aval d'une façon discontinue et plutôt locale;
- La sidérose, outre sa position naturelle (au dessous du niveau hydrostatique)affleure curieusement sur des surfaces importantes dans d'autres quartiers (Zerga, Ilot, Chagoura Sud) ;
- L'extinction nette de la minéralisation dans le flanc Sud Est du pseudo-anticlinal 6 Mai Douamis et son enrichissement en calcite;
- Les deux flancs du même grand anticlinal sont différents de tous les points de vue(structure, complexe lithologique, morphologie des corps minéralisés).[3]

5-cadre géologique et lithostratigraphique

5-1-trias

Les formations les plus anciennes rencontrées à l'affleurement appartiennent au Trias. Il s'agit essentiellement de marnes bariolées à gypse et de l'halite qui renferment des dolomies et des calcaires dolomitiques à fins lits micro quartzique ainsi que des grès rouges et des cargneules.

Les formations triasiques ont généralement une extension remarquable orientée NE-SW. Ces formations affleurent à la faveur d'extrusion, soit sous forme de masse chaotique où dominant, le Gypse, les Argiles et Dolomies, soit organisée en unités stratifiées localisées sur les flancs des structures. Les chlorures signalés dans le salifère principal du NE Saharien, (Busson et Cortnée, 1989) in Bouzenoune et Al, (1995) sont présents dans la région.

Des études récentes ont montrés une analogie existante entre le Trias diapirique de la « Gulf-Coast » (USA) et ceux des confins Algéro-Tunisiens. Ainsi il a été signalé que le Trias est constitué par un noyau de sel surmonté par un « Cap-Rock ».

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

Ce dernier recèle parfois des concentrations minérales (Bouzenoune, 1993), ces « Cap-Rock » résultent de la dissolution du piston salifère lors de sa migration vers les zones superficielles, induisant généralement des zonations minéralogique verticales. Les zones les plus profondes qui sont en contact du sel sont les plus récentes et les zones les moins profondes sont les anciennes (Bouzenoune, 1993)

En Gulf-Coast le modèle de la mise en place a mis en évidence trois zones (Goldman, 1925-1933-1952 ; Hana et al, 1934 ; Murray, 1966 ; in Bouzenoune, 1993).

Une zone essentiellement à Anhydrite.

Une zone à Gypse.

Une zone à Calcite.

L'épaisseur totale de Trias n'est pas connu, on sait cependant que la puissance des dépôts du Trias peut dépasser les 1000 m dans l'Atlas Saharien (Alier et al, 1971 ; Busson et Corné, 1989 ; in Bouzenoune et al, 1995).

A l'Ouenza les formations triasiques sont principalement constituées de marne gypsifères bariolées, de sédiment marno-argileux à intercalation de dolomies grises et de calcaire dolomitique, le sondage P103, effectué par l'E.R.E.M, a traversé la halite à une profondeur de 130m (Bouzenoune, 1993).[4]

5-2-jurassique

Les dépôts du Jurassique n'ont pas été observés jusqu'à présent dans la région de l'Ouenza. Toute fois G. Dubourdieu(1956) a signalé dans le « Socle » de la série carbonatée de l'Ouenza (secteur Conglomérat) la présence d'une brèche gypsifère sédimentaire renfermant de gros débris de calcaires dolomitiques avec des fossiles radiolaie que l'on peut dater du Jurassique et Crétacé inférieur.[4]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

5-3- crétacé :

5-3-1- barrémien :

Les formations barrémiennes représentent les terrains les plus anciens observés en position normale dans la région de l'Ouenza. Les seules formations rapportées au Barrémien affleurent au N-E de la région envisagée au Dj. Harraba et dans son

Voisinage immédiat ainsi que dans le petit anticlinal de Sidi Emmbarka au Sud- Est, Il s'agit des marnes assez argileuses non

Fossilifères dont la partie supérieure renferme quelques intercalations de bancs de calcaire gris noduleux à patine ocre (Dubourdiou, 1956). Le Barrémien est gréseux au Dj. Sidi Rghiss (Masse et Thieuloy, 1979) ainsi qu'à Messloulou (Dubourdiou, 1959 ; Masse et Thieuloy, 1979).[3]

5-3-2-aptien :

L'activité diapirique dans la zone des dômes a gouvernée l'évolution tectono-sédimentaire des différents massifs de la région qui sont essentiellement carbonatés, ces formations carbonatées constituent l'un des plus importants réservoirs des minéralisations, l'étude de leurs âges, leurs positions structurales, leurs épaisseurs et leurs relations avec les diapirs de la région permet d'apporter beaucoup d'éclaircissements ou d'explications dans ce vaste domaine de plate-forme de l'Atlas-Saharien.

Les études faites sur les séries carbonatées des différents massifs tel que à l'Ouenza (Thibieroz et Madre, 1976 ; Masse et Chikhi, 1982 ; Bouzenoune 1993), à Boukhadra (Nedjari, Bellahsene et Nedjari et al. 1984), montrent que les épais dépôts carbonatés résultent de l'accumulation de faciès différents superposés sur une même coupe ; Calcaire à polypiers et débris à la base, calcaire à Miliolites et Rudistes au milieu et calcaires à débris au sommet dont lesquels la part de calcaire construits est très faible et où prédomine une sédimentation mécanique bioclastique déposée dans un milieu de plate-forme.

Ce terme « plate-forme » a été introduit par J.M. Masse et J.P. Thieuloy, dans une étude régionale approfondie au profit de l'ancienne nomination « Haute-fonds récifaux » de G. Dubourdiou (1956).

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

L'ensemble des plates-formes carbonatées de l'Atlas Saharien oriental sont des dispositifs à caractère local ayant une extension réduite (Aoudjehane et al. 1992), et subissent d'importantes variations de faciès et d'épaisseurs. Elles présentent un nombre élevé de faciès lithologiques des séries de calcaire aptien qui les composent, ce qui rend la comparaison entre massifs très difficile.

Les dépôts calcaires d'une structure à l'autre, sont synchrones d'Est en Ouest, mais présentent un certain diachronisme du Nord vers le Sud (Masse et Thieuloy, 1979) et semble-t-il du bassin vers le « TOP » des diapirs, (Aoudjehane et al, 1992).[4]

6-Aperçu géologique sur les quartiers de la mine de l'Ouenza

Selon la structure et la nature des roches, le gisement est divisé en sept (07) gîtes(quartiers) principaux sont :[5]

6-1-quartier chagoura nord

le massif calcaire de chagoura est compris entre 800 et 1100m d'altitude et s'étend sur 750m en longueur vers le ne du pic ouenza.

ce massif est caractérisé par une importante accumulation de calcaires récifaux d'âge aptien, qui se rattachent localement à la masse rocheuse du pic de l'ouenza.

au nord du pic, existe une importante intercalation de marnes au sein des calcaires de chagoura.

les corps minéralisés les plus importants sont situés dans les calcaires récifaux de l'aptien et sont associés aux plis anticlinaux de deuxième ordre, orientés ne: douamis, chagoura sud et koura ouenza-chagoura nord.

en coupe transversale, la forme des plis est irrégulière. en général, symétrique au pendage des roches sur les flancs (30°-60°) ; dans les parties supérieures des structures, les pendages sont raides (65°-80° : cas chagoura nord).

d'après les coupes verticales et horizontales élaborées, le corps le plus important se présente sous forme d'un corps tubulaire de 650m de longueur, 150m de largeur et 300m de profondeur (aval pendage), avec des ramifications diverses de part et d'autre du corps.

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

la teneur moyenne en fer pour l'ensemble des corps minéralisés est pratiquement identique, soit en moyenne 48%. quant à la teneur en silice, elle est pratiquement constante dans tous les corps, elle varie de 5 à 6% en moyenne.

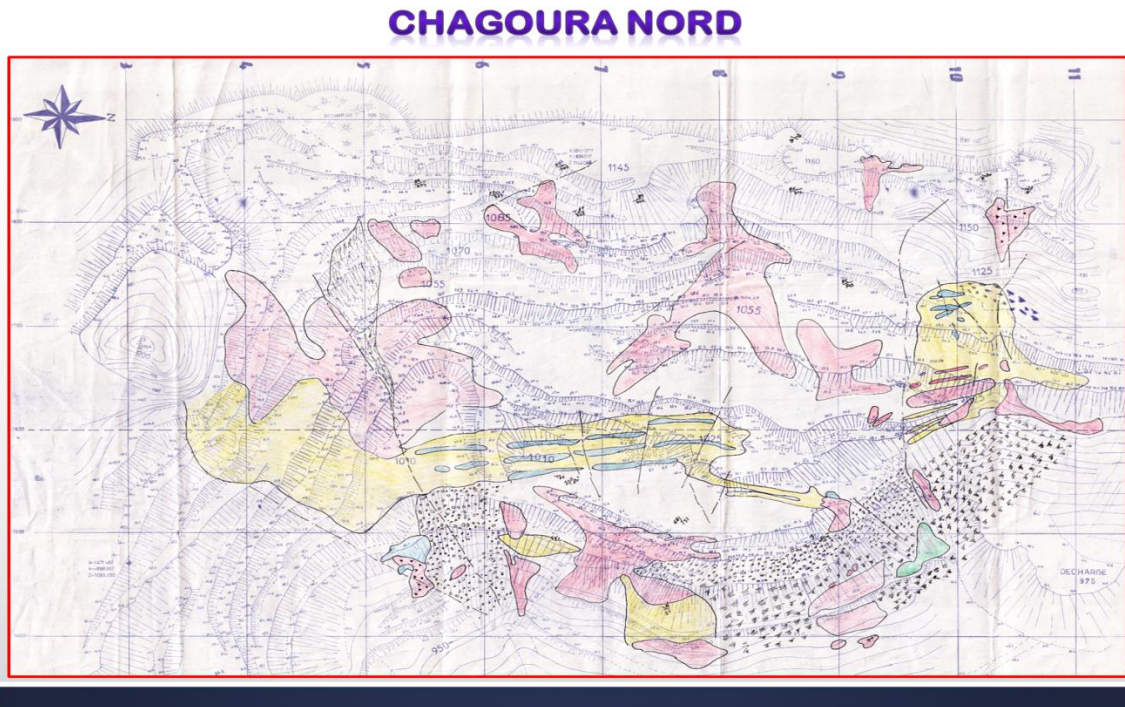


figure 5: carte géologique du quartier chagoura nord

6-2-quartier chagoura sud-pic

le quartier de chagoura sud-pic est un massif calcaire dont les côtes varient de 800 à 1225m (pic ouenza) et s'étend sur une longueur de 750m environ à l'ene du pic.

le massif de chagoura est représenté par une accumulation considérable de calcaires récifaux d'âge aptien, au nord du pic on observe une importante intercalation de barres marneuses au sein de ces calcaires.

les corps minéralisés sont localisés au sein des calcaires et sont disposés en général sous forme de lentilles irrégulières.

l'interprétation des coupes verticales et les projections sur les plans ont permis de mettre en évidence six corps miniers moyennant une teneur en fer de 47.29% et 5.48% en SiO_2 .

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

en réalité ces corps ne sont que des apophyses du corps principal ayant fait l'objet d'exploitation intensive durant les années passées.

CHAGOURA PIC

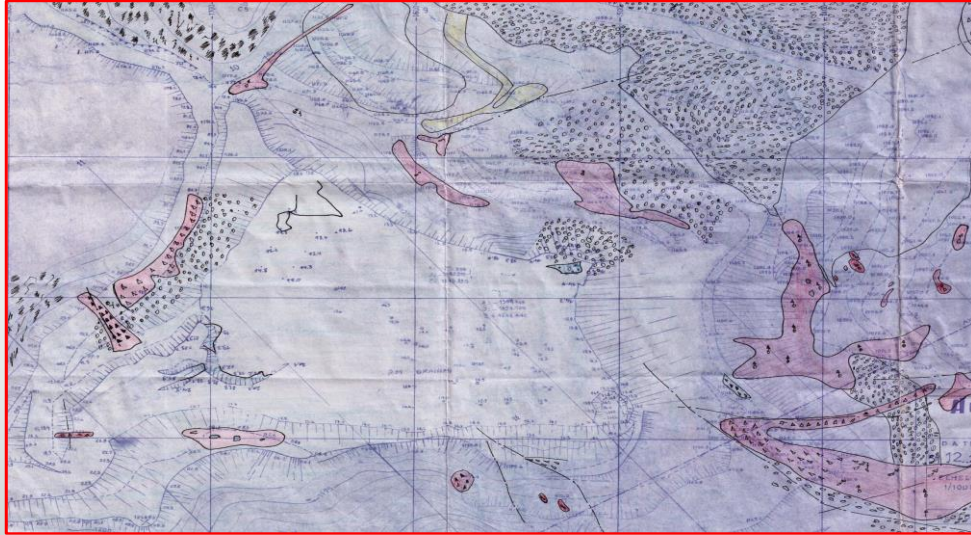


figure 6:carte géologique du quartier chagoura pic

CHAGOURA SUD

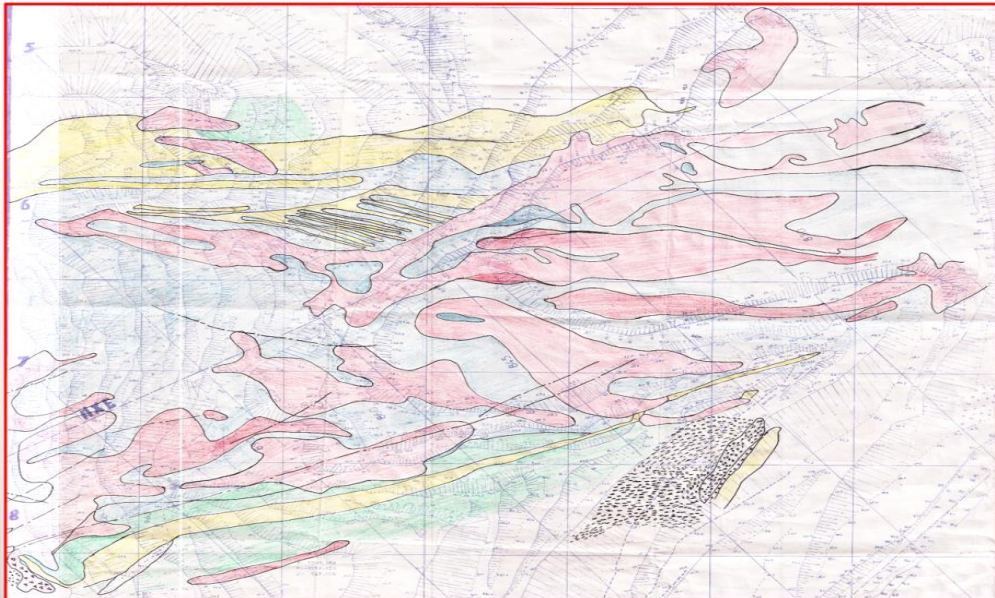


figure 7:carte géologique du quartier chagoura sud

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

6-3-quartier 6 mai (îlot)

le quartier 6 mai représente le prolongement naturel de chagoura sud et pic en direction de l'ene, ayant été entraînées vers le nord par l'accident « chagoura-sainte barbe ».

le gisement de sainte barbe est représenté par des formations carbonatées aptiennes qui s'étendent du sw au ne sur une longueur de 750 m et une largeur avoisinant 300 mètres en moyenne. dans la partie nw, les dépôts aptiens s'enfoncent sous les brèches de pente et les dépôts triasiques gypsifères.

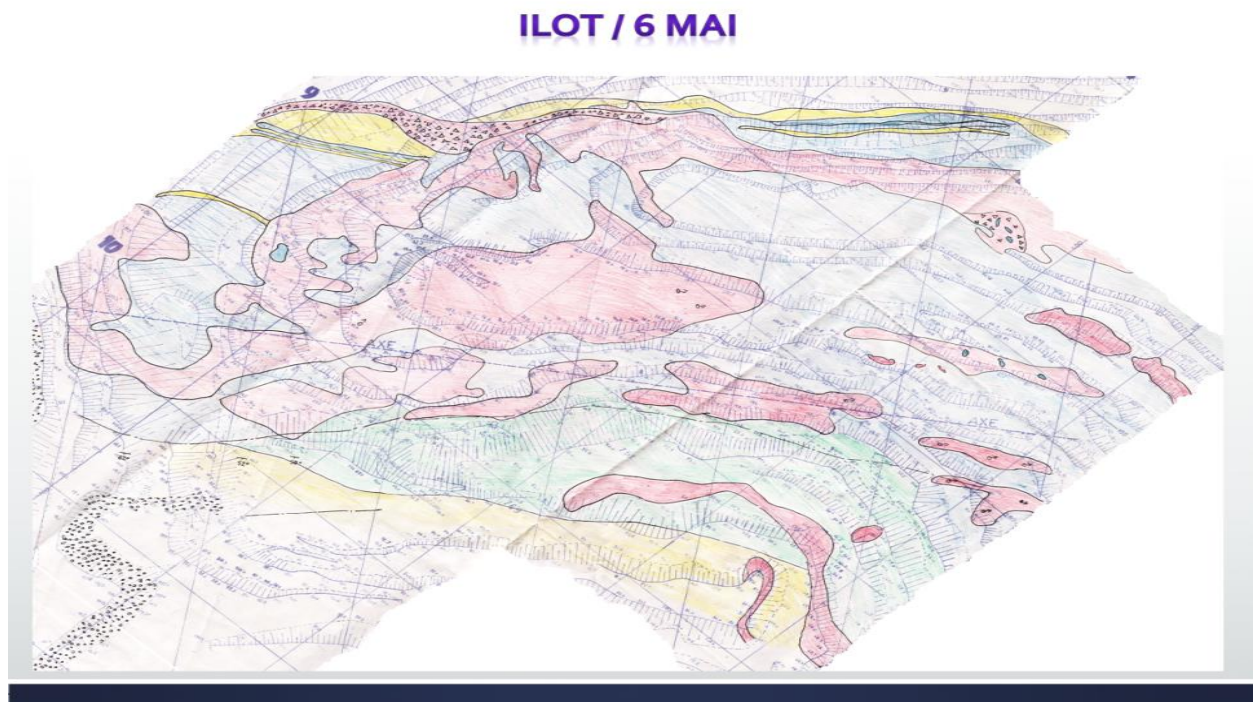


figure 8: carte géologique du quartier îlot/6mai

6-4-quartiers douamis et hallatif

les gisements de douamis et de hallatif se trouvent sur le prolongement de l'axe du 6 mai vers le nne. ils représentent le flanc « est » de la structure d'ouenza et appartiennent à la même structure anticlinale que les quartiers chagoura sud, et conglomérats.

du point de vue faciès, les terrains de ces gisements sont représentés par les mêmes roches. c'est-à-dire des calcaires récifaux et des marnes de l'aptien, ainsi que des formations triasiques.

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

6-5- quartie zerga

le début d'exploitation de ce quartier remonte à 1974. l'exploitation a commencé ses travaux à partir du niveau 875 m pour se terminer au 709 m. le projet prévoit 11 gradins d'une hauteur de 12-18 m. le pendage des gradins en carrière au cours des travaux d'extinction est de 30-40°.

du point de vue géologique la base des dépôts métallifères est composée de marnes souvent gypsifères et de calcaires.

toute la région est accidentée par un grand nombre de failles de faibles ampleurs et de différentes directions bien marquées par des plans de glissements bien dessinés sur les contacts des roches de types variés.

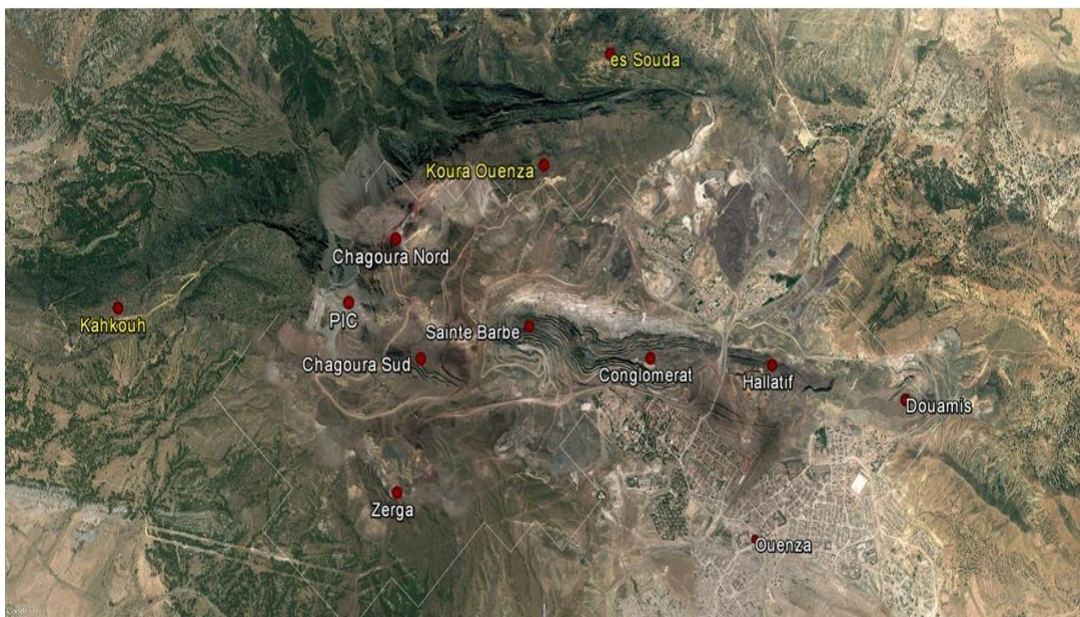


figure 9: Gisements de fer de l'Ouenza

7-Nature de gisement

Le fer de l'a mine de l'Ouenza est d'un minerai de type hématite actuellement en exploitation, en remarque la présence d'un minerai de fer carbonaté la sidérite qui n'est pas encore mis en exploitation à ciel ouvert.[2]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

7-1-morphologie et structure de gisement

Le gisement de l'Ouenza se situe dans le Djebel Ouenza qui est un grand anticlinal de direction SW-NE. Si l'on s'éloigne de la partie périclinale SW qui se présente d'une manière spectaculaire pour aller vers le NE on verrait la masse énorme des calcaires récifaux de l'aptien qui forme l'ossature de la montagne. Une grande faille longitudinale qui coupe le récif aptien dans une zone où il devait avoir tendance à s'amincir abaisse les terrains situés au SE du Djebel. Celle-ci se prolonge vers le NE en passant au pied du pic de l'Ouenza, et après avoir été éjecté par de petits accidents secondaires logent au Nord des parties minéralisées de la mine entre 06 Mai et Hallatif. Deux lames triasiques viennent s'injecter dans les marnes de l'albien au Nord et au Sud du Djebel. La lame Sud a fait remonter des lambeaux d'aptiens minéralisés (Quartier Zerga). La présente structure du massif est due aux effets de la poussée diapirique du Trias.[2]

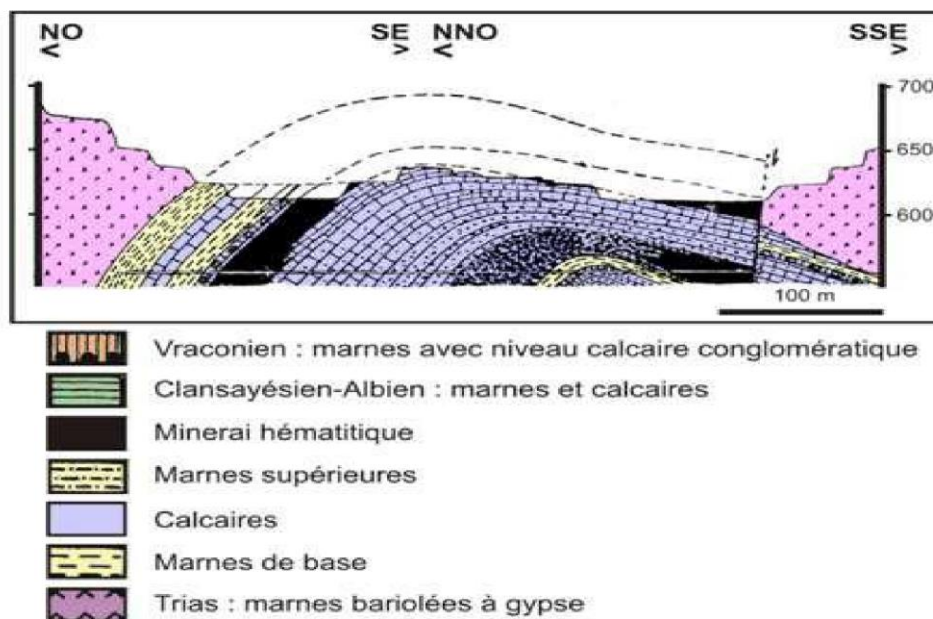


figure 10: Coupe dans la structure anticlinale du gisement de l'Ouenza

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

8-composition chimique du minerai

La composition chimique du minerai de fer de la mine de l'Ouenza est donnée dans le tableau suivant :

Eléments	Fe	Si O2	CaO	MgO	Al2O3	BaSO4	S	Mn	Cu	P
Teneur en %	49.8	4.00	7.10	2.00	2.25	Trace	0.04	1.98	Trace	0.02

Tableau 1 :Composition chimique moyenne du minerai de l'Ouenza.

la composition chimique du fer de la mine de l'Ouenza est l'oxyde de l'Hématite Fe_2O_3 soit dominant (49.8 %) avec la présence de la chaux (CaO) et silice (SiO_2). Il existe des très faibles teneur d'autres éléments (Al_2O_3 , MgO, Mn) En fonction de la nature du minerai de l'Ouenza, confirmée par l'étude de sa composition minéralurgique et la détermination de la susceptibilité magnétique des éléments qui constituent le minéral de base d'une part, et les informations qui se trouvent dans la recherche bibliographique d'autre part.[2]

9-Prospection et état des réserves

9-1-les réserves géologiques au 30 /09/2025

Quartier	Quantité(t)	Fe%
Ch-sud-pic	18 600 000	50
Ch-Nord	19 000 000	48,9
St Barbe	12 800 000	47,8
Conglomérat	6 000 000	47,4
Halatif	4 900 000	51
Douamis	11 000 000	53
Zerga	3 000 000	42,6
Koura Ouenza	37 500 000	48,0
TOTAL	114 000 000	48,9
Essouda	13 400 000	34,32

Tableau 2 : réserves géologiques au 30 /09/2025.[6]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

9-2-les réserves exploitables au 30/09/ 2025

Quartier	Quantité(t)	Fe%	Stérile(t)	T.D
Ch-Pic	6 600 000	53,5	22 500 000	3,4
Ch-Sud	3 000 000	48	6 500 000	2,1
Ch-Nord	8 500 000	49,7	15 800 000	1,8
St Barbe	4 600 000	48,4	18 600 000	4,1
Conglomérat	400 000	46,6	1 800 000	4,7
Douamis	8 400 000	53,9	42 000 000	5,0
Zerga	2 300 000	42,7	2 700 000	1,2
TOTAL	33 800 000	50,7	110 000 000	3,3

Tableau 3 : réserves exploitables au 30 /09/2025.[6]

10-Les oxydes et les hydroxydes de fer

Pour les minerais les plus courants, des composés donc, on a :

10-1- la limonite:

Un mélange d'oxydes et d'hydroxydes de fer plus ou moins hydratés dont la goethite. La limonite est souvent présente dans des roches d'origine magmatique ou métamorphique. Mélangée à de l'argile elle donne des ocres plus ou moins jaunes. Attention : le terme hématite brune est synonyme de limonite et non d'hématite.[3]

10-2-l'hématite (fe₂o₃):

L'hématite est le minerai de fer type elle se présente sous plusieurs formes. Elle est pulvérulente de couleur bleue, noire, rougeâtre, il s'agit d'un minerai riche ; en masses ternes sans cristaux apparents correspondant à un minerai pauvre ; et en minerai dur et homogène laissant souvent apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté.[3]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

10-3- la goethite (FeOOH):

Elle résulte soit de l'hydroxydation des oxydes de fer, soit d'une précipitation directe dans les vides, sous forme de concrétionnement, donnant des formes diverses (concrétions, en croûtes concentriques mamelonnées, ou même en structure stratiforme, ou encore en forme de stalactites et stalagmite dans les géodes. De couleur sombre à noir, avec un éclat sub-métallique, de dureté élevée, la goethite forme des encroûtements à surface brillante.

Aux oxydes et hydroxydes de fer s'ajoutent des sulfures, représentés essentiellement, par la pyrite (FeS_2) et des carbonates de cuivre, représentés essentiellement par la Malachite $[\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{CO}_3]$ et l'Azurite $[\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2]$. [3]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza



Minerai de fer Limonite



Minerai de fer Hématite



Minerai de fer Hématite et Limonite

Gèode de goethite tapisé de limonite et Hématite

figure 11: Collection de Roches & Minéraux: Oxyde et Hydroxyde - mine de l'Ouenz

11-Méthode d'exploitation du gisement de fer de l'Ouenza

La méthode d'exploitation est une succession de réalisation des travaux de creusement, de découverte et d'extraction du minerai dans un ordre bien déterminé. Le système d'exploitation se caractérise par le développement dans l'espace et dans le temps des travaux préparatoires, de découverte, et d'extraction du minerai.

- Le choix de la méthode d'exploitation dépend des facteurs suivants :

-Caractéristiques géologiques du gisement.

-Nombre et puissance des engins qui prennent part à la chaîne technologique d'exploitation.

-Mode d'ouverture du gisement.

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

-Le relief de la surface, la puissance et l'angle de pendage des gîtes.

D'après les caractéristiques géologiques du gisement de la mine de l'Ouenza , la méthode d'exploitation est à ciel ouvert allant de haut vers le bas avec une exploitation combinée d'une manière à exploiter les filons et des amas de minerais, en découvrant le stérile. [3]

On générale dans cette mine l'exploitation comprend plusieurs étapes

1) La foration avec des sondeuses la hauteur des gradins 15m.

2)Chargement des trous forés avec l'explosif.

3)Tir des mines.

4)Le rechargement des masses abattues par des pelles et des chargeuses.

5)Alimentation par camion jusqu'à la station de concassage.

6)Criblage et concassage.

7)Reprise sous concasseur et amené au parc de stockage par le convoyeur à bande.

8)Expédition vers Annaba les wagons de 60 Tonnes par SNTF.

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

11-1-accès d'ouverture du gisement

La plate d'accès de gisement est tracée au du niveau 955 sur une longueur de 1400 m ,avec une pente maximale de la pista reste praticable durant toute la durée d'exploitation de la carrière, donc il est raisonnable de l'entretenir afin d'assurer la bonne circulation des engins de la carrière.

11-1-1-la découverte

Le gisement est formé de calcaire massif à panneaux verticaux, il ne nécessite pas des travaux de découverte spécifiques.

11-1-2-mise à terril

Les paramètres géologique aussi que le relief, nous permettant de réaliser la mise à terril que dans la partie sud du périmètre.

11-1-3-l'ouverture du gisement

L'ouverture du gisement est un ensemble de processus réalisés, dans le but de réaliser l'accès au champ de la carrière et d'assurer des communications de transport aux flux formés sur les gradins.

Le mode d'ouverture du champ de la carrière est choisit en fonction des facteurs suivants :

- relief de la surface du sol.
- caractéristiques géologiques et hydraulique du gite.
- méthode d'exploitation de gisement.
- rendement de la carrière.

L'ouvrage minier à ciel ouvert utilise des gradins qui sont dits "tranchés d'accès" l'ouverture est réalisée par des demis-tranchés.

Pour les gisements à relief montagneux tel que le gisement de l'Ouenza, le mode d'exploitation appliqué est par fonçage avec un seul bord exploitable, le contour de la mine n'étant pas fermé. L'exploitation de tels gisements, disposés sur un flanc de coteau de pente

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

35°, se fait de haut en bas. L'extraction du minerai est réalisée par gradin de 13 à 15 m de hauteur, un angle du talus de 75 à 80° et une largeur des bermes de 7 à 12 m avec un taux de découverte de 2,96. Selon le projet d'exploitation, la fosse finale aura une profondeur de 620 m, l'angle du bord inexploitable de la mine est de 32°. [3]

11-2- travaux de forage et de tir

11-2-1-abattage

Le choix de la méthode d'abattage des roches dépend:

- type de roches, et leur état naturel;
- les propriétés physico 3 mécaniques et technologiques des roches;
- de la productivité de l'entreprise minière;
- des paramètres techniques des engins et des équipements miniers disponibles et des exigences fixées à la qualité du minerai extrait.

11-2-2-l'abattage à l'explosif

L'abattage des roches par explosion est très répandu dans les mines à ciel ouvert et c'est une méthode principale pour la préparation des roches dures.

L'abattage à l'explosif est pratiqué dans les milieux rocheux qui ont une densité supérieure à 2,5 et une résistance à la compression de plusieurs centaines de Kg/m².

11-2-3-travaux de forage

Le forage c'est le processus de foration des trous d'une profondeur déterminée pour l'abattage du minerai renfermé dans le gradin. Ces travaux sont effectués par des sondeuses appropriées. Ces trous seront chargés d'explosif.

11-2-4-sondage (forage)

Le forage est une opération principale, effectué dans le but d'étudier et délimité les corps minéralisé en profondeur.

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

Ces sondages sont placés selon une maille sur des profils perpendiculaire à la direction des corps minéralisé, sont de nature destructif réalisé à l'aide d'une sondeuse à circulation inverse (RC),[3]



figure 12:La sondeuse INGERSOLL-R(T4BH900HR4) en travail de mine de l'Ouenza. [3]

11-2-5-le tir

11-2-5-1-définition du tir:

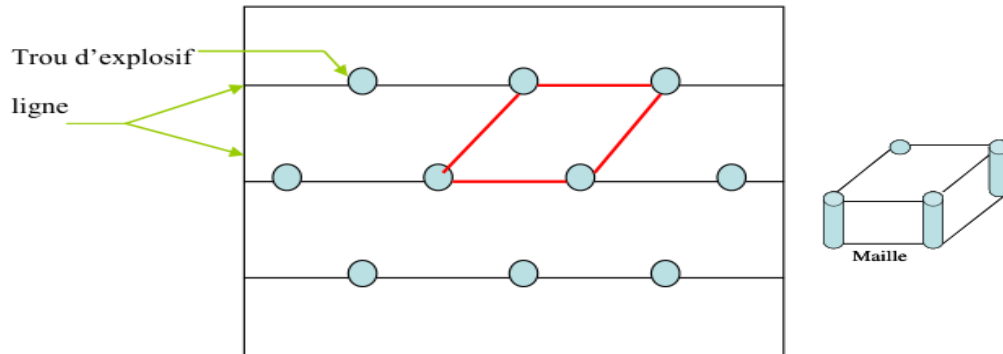
c'est faire fragmenter les roches (minerai + stérile) constitues un terrain à l'aide des explosifs, c'est une étape principale pour l'exploitation.

11-2-5-2-définition des explosifs:c'est une substance qui réagi ou se décompose sous l'action d'une simple flamme ou un choc violent, accompagné d'une grande énergie dégagé sous forme d'une grande quantité de gazes à très haut température [3]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

11-2-5-3-les démarches à suivre pour réaliser le tir

Le de la maille du tir



Remplir les trous de forassions par les explosifs;

_ Introduire le premier sachet de Marmanite (Type I) dans le trou à l'aide d'un cordeau

_ Introduire un deuxième sachet de Marmanite (Type II) par une chute libre.

_ Remplir le vide entre les explosifs et la roche hôte par l'Anfomil.

_ Fermer le trou et faire le bourrage à l'aide du gravier.

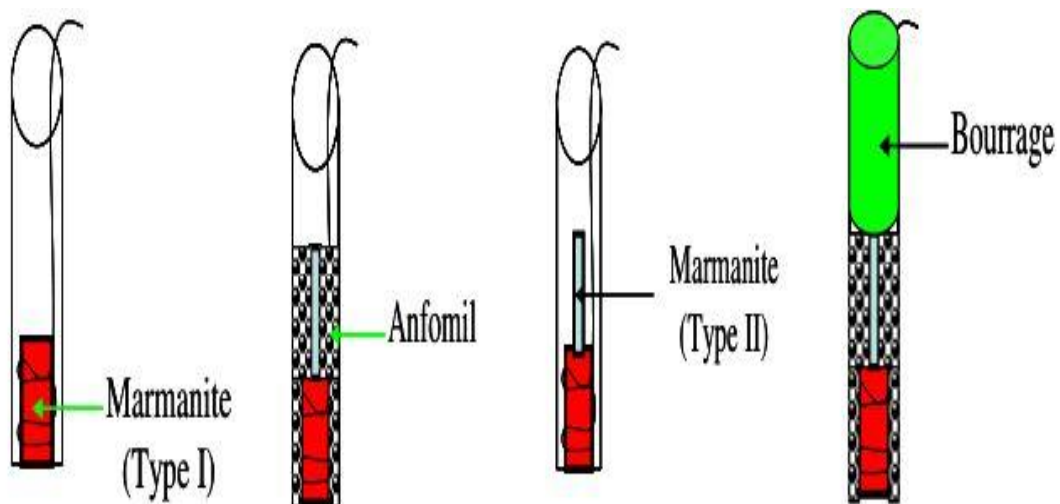


figure 13:Schéma des trous de la mine de l'Ouenza

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

Relier tous les trous d'explosifs à l'aide d'un cordeau, ainsi que les lignes par le même fil du tire .

La quantité d'explosif est déterminée par rapport à la dureté de la roche.

L'éboulement ne doit pas dépasser le talus.

La tire est effectuée par des opérateurs qualifiés dans ce genre d'opération.



figure 14:Le tir de la mine de l'Ouenza

11-3-travaux de chargement et de transport

11-3-1-travaux de chargement

Le choix des moyens de chargement dépend des facteurs suivants :

- _ Nature de matériaux
- _ Productivité planifiée
- _ Mode d'exploitation
- _ Hauteur du gradin [3]

Dans les conditions de la mine de l'Ouenza, les travaux de chargement s'effectuent à l'aide de deux types de chargeuses : Chargeuse sur pneu et pelles mécaniques (rétro) qui font deux opérations à la fois, l'extraction et le chargement de la masse abattue.



figure 15:camion CATERPILLAR type775F

11-3-2- travaux de transport

Le but principal du transport dans la carrière est le déplacement de la masse minière des chantiers au point de déchargement qui sont les terrils pour les roches stériles et les stocks ou les trémies de réception des usines de traitement pour les minéraux utiles.

Le transport des roches abattues dans carrière de l'Ouenza s'effectue par des camions (dumper) (CATERPILLAR) de 40 et 50 tonnes

Le transport des roches abattues dans carrière de l'Ouenza s'effectue par la combinaison suivante :

Camions→Convoyeur→Train.



figure 16:la chargeuse CATERPILLAR TYPE988 H

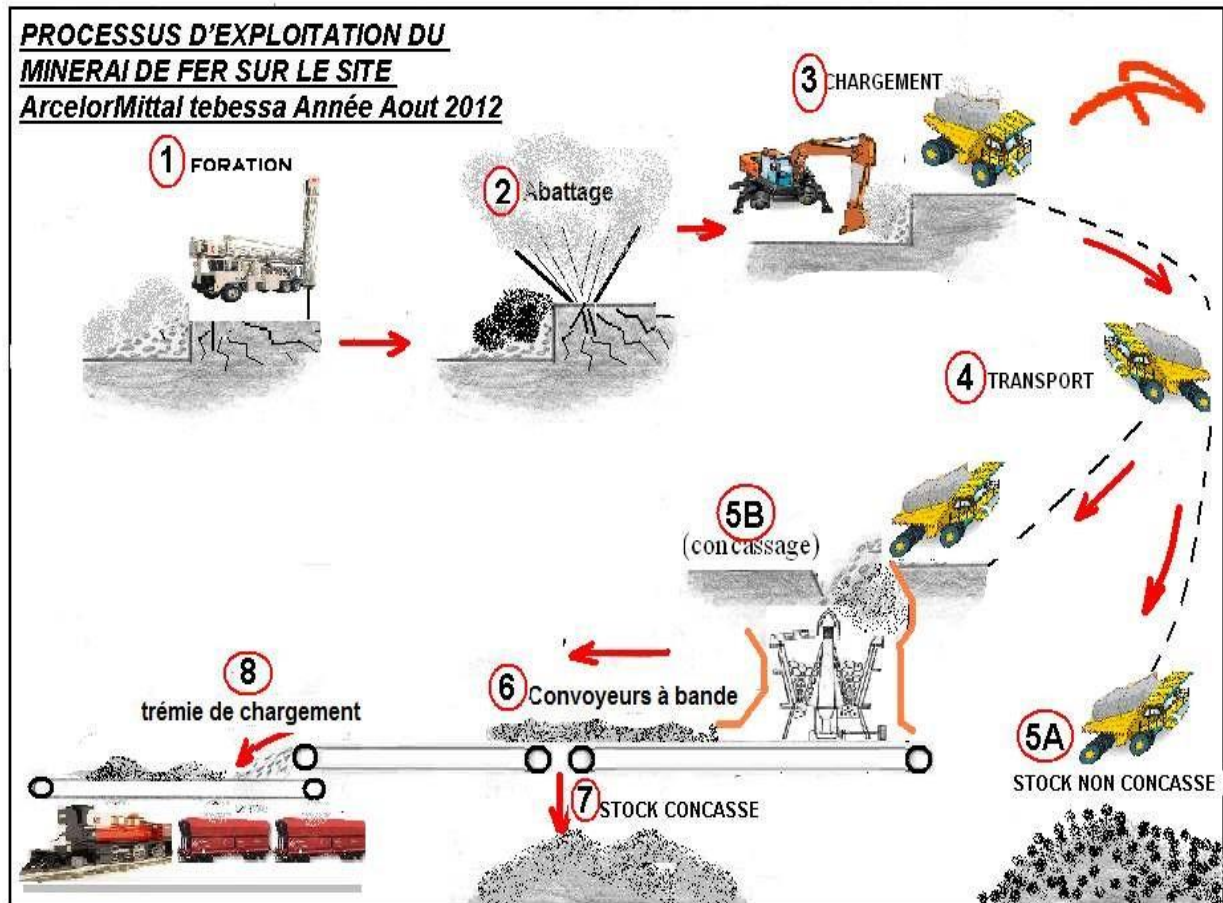


figure 17:Processus d'exploitation de minerai de fer dans la mine de l'Ouenza.[3]

11-4-traitement mécanique

Le minerai extrait du massif a une granulométrie qui ne répond pas aux exigences de transport par convoyeur ou par train, c'est pour cette raison que n'importe quelle type de minerai subi un traitement soit mécanique, chimique, etc. Le traitement mécanique consiste à la réduction des dimensions du bloc afin d'obtenir une granulométrie favorable au transport.

On constate dans la plus part des mines ou des carrières, la présence d'une usine de traitement (enrichissement), au moins une station de concassage, broyage, etc.

Dans la carrière de l'Ouenza la première station de concassage est située au niveau (803m). Elle est alimentée par des camions venant des quartiers, le déchargement se fait dans une trémie de réception de capacité de 450 tonnes. La deuxième station se situe au niveau (660m) près de la gare d'expédition.[3]

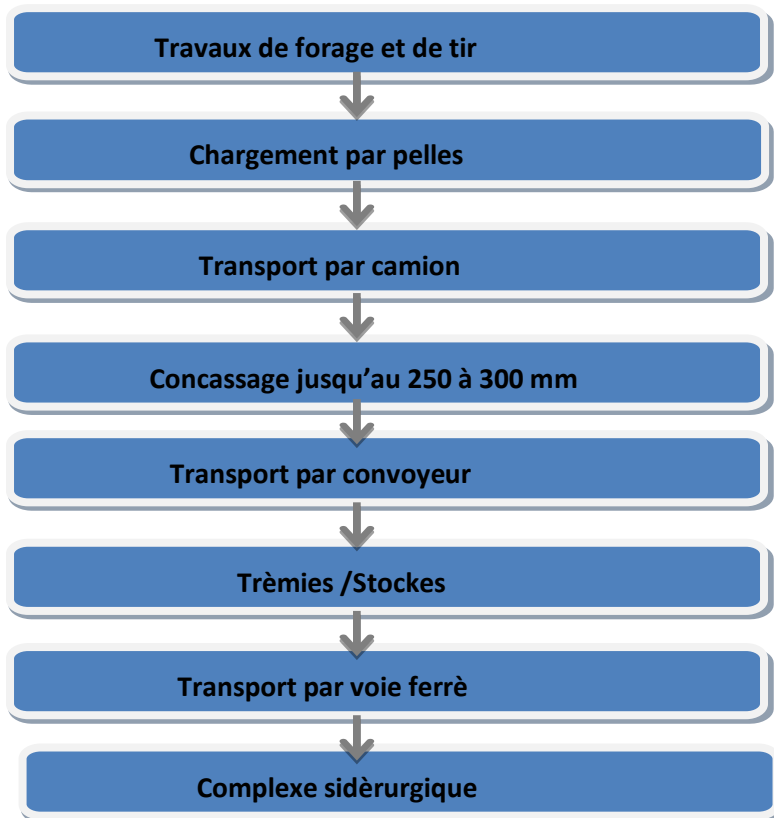


figure 18:Schéma technologique d'extraction et de préparation du minerai de fer de l'Ouenza.[

12-Préparation mécanique du minerai de fer de l'Ouenza

L'échantillonnage constitue une étape cruciale dans le processus de caractérisation d'une matière naturelle qui peut être en différents aspects dans la nature, dont les minerais représentent les sources les plus utilisées dans l'industrie, ce qui nécessite de disposer d'une information la plus fiable possible sur le minerai à étudié.

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

Après qu'ils ont subis un premier concassage par un concasseur à mâchoire de type laboratoire , jusqu'à moins de 30 mm, une première homogénéisation paraît nécessaire par effet de l'hétérogénéité de minerai altéré présenté à la surface , les échantillons subissent un deuxième concassage jusqu'à moins de 10 mm suivi d'une homogénéisation avant leur

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

broyage par un broyeur à boulets de typelaboratoire.(voir schéma de préparation des échantillons ci-dessous).

Le produit issu du broyage est d'une granulométrie de ($< 3\text{mm}$) suit une série d'opérations d'homogénéisation et de quartage effectuée soigneusement pour éviter toute sorte d'erreurs systématiques qui peuvent fausser les résultats, et afin d'avoir un échantillon plus représentatif qu'il sera l'objet d'une analyse granulo-chimique et autres testes de séparation minéralurgiques.[3]

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

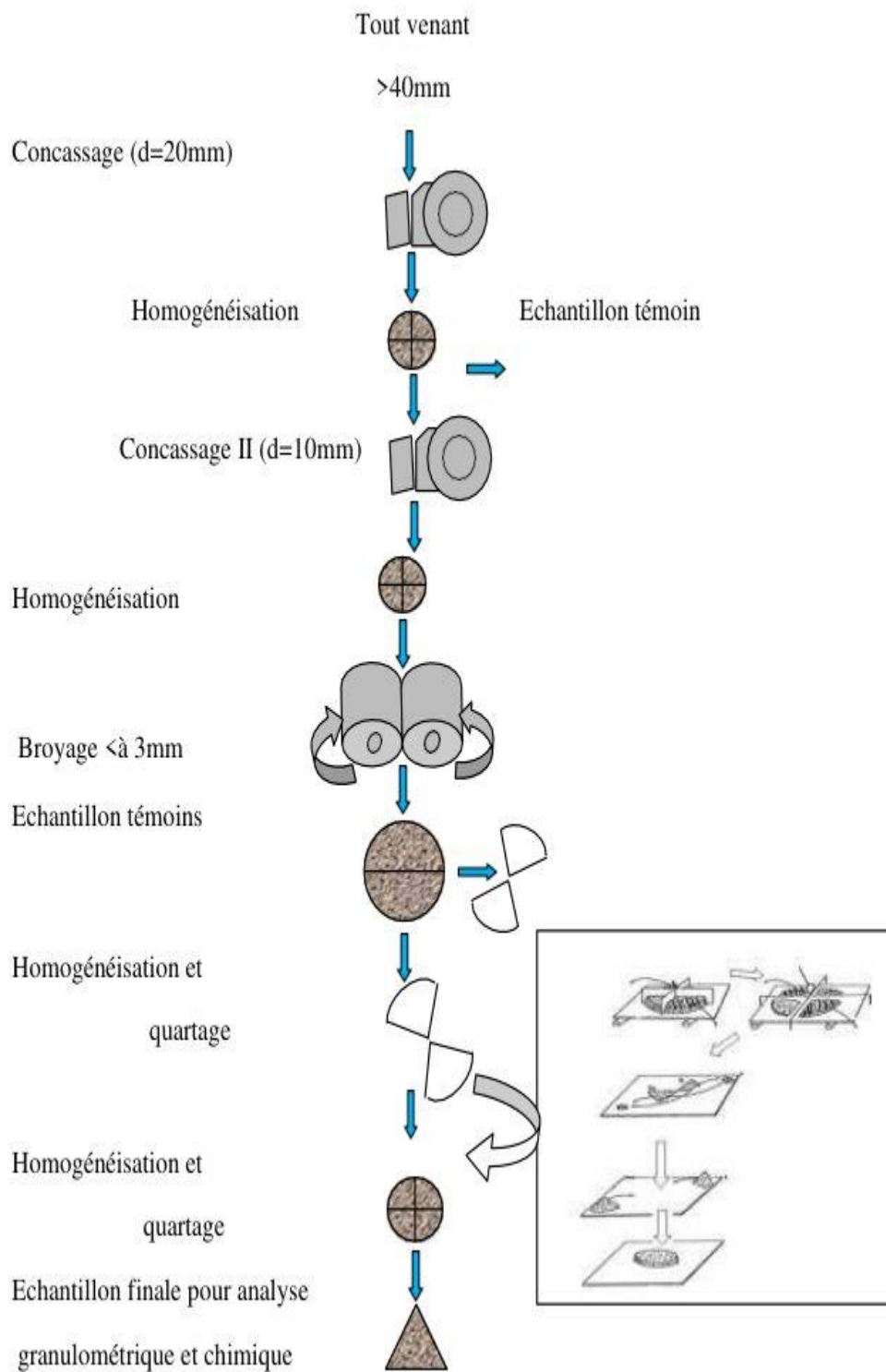


figure 19:Schéma de préparation mécanique des échantillons pour analyse granulométrique et chimique .

CHAPITRE 1: Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

Conclusion

Etant donné l'objectif de cette thèse, nous nous sommes focalisés dans ce chapitre sur la présentation générale de la zone d'étude.

La mine de l'Ouenza caractérisée par des importantes réserves de minerai de fer , cette dernière contribue fortement dans l'industrie lourde en Algérie. Ce gisement est constitué essentiellement d'hématite et des carbonates et des hydroxydes de fer .

L'exploitation de la matière première est en mode à ciel ouvert engendre des rejets , se fait par plusieurs équipement de travaux d'abattage , chargement et transport , qui peuvent atteindre plus de 60% et qui sont entreposé en décharge et aucune méthode de valorisation n'est proposée par l'entreprise.

CHAPITRE 2

Généralités sur le minerai de fer

Introduction

Le terme « fer » trouve son origine dans le mot latin ferrum. Les premières traces de son utilisation remontent à environ 4000 ans avant l'ère chrétienne, notamment chez les Égyptiens et les Sumériens. Le minerai de fer est constitué de roches et de minéraux à partir desquels il est possible d'extraire du fer métallique de manière économiquement viable. En général, ce minerai est riche en oxydes et en carbonates de fer et présente différentes couleurs telles que le gris foncé, le jaune vif, le pourpre sombre ou encore des teintes rouille.

Le fer est également le métal le plus exploité en raison de ses propriétés pratiques, notamment sa dureté, sa résistance et sa longévité. Le minerai de fer constitue la matière première utilisée pour produire la fonte de première fusion, qui sert ensuite de base essentielle à la fabrication de l'acier.

De manière générale, plus un minerai est riche en fer, plus son exploitation est rentable. Lorsqu'il possède une teneur supérieure à 54 %, il est classé comme minerai riche et ne nécessite aucun traitement particulier, sauf un simple calibrage. En revanche, lorsqu'il contient moins de 54 % de fer, il est considéré comme pauvre et doit subir des opérations de valorisation afin de pouvoir être commercialisé. Il existe par ailleurs deux types de minerai de fer à haute teneur selon leur granulométrie : le minerai en morceaux, dont la taille des particules dépasse 8 mm, et le minerai fin, dont la granulométrie est inférieure à 8 mm.[1]

1-Définition

Le minerai de fer est une roche à partir de laquelle le fer métallique peut être extrait de manière économiquement rentable, après séparation des minéraux riches en fer. Il constitue une ressource naturelle abondante, représentant environ 5 % de la croûte terrestre.

Il s'agit de la principale matière première utilisée dans la production de l'acier, un matériau essentiel dans de nombreux secteurs tels que la construction, les infrastructures, les transports et l'industrie.

Le minerai de fer se présente sous différentes formes minéralogiques, dont les plus importantes sont l'hématite (Fe_2O_3), la magnétite (Fe_3O_4), la limonite ($\text{FeO}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$) et la

sidérite (FeCO_3). Ces minerais se trouvent généralement dans des formations sédimentaires, mais peuvent également être associés à des roches ignées ou métamorphiques.[2]

2-Géologie degisement

Le fer constitue l'un des éléments essentiels du noyau terrestre. C'est également l'un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre, dont il représente environ 5 %. Il se trouve concentré sous forme de gisements à différentes époques géologiques, en de nombreux endroits de la croûte terrestre et dans des conditions de formation variées.

L'une des classifications géologiques les plus complètes est celle basée sur la notion de "type", proposée par F. Blondel en 1955 et développée par P. Routhier en 1963. Cette classification distingue au moins quinze types de gisements, ainsi qu'un certain nombre de sous-types.

Toutefois, tous ces types n'ont pas la même importance sur le plan économique. Seuls ceux correspondant aux minerais les plus utilisés par la sidérurgie seront brièvement décrits par la suite :

2-1 -quartzites ferrugineux :

Les quartzites ferrugineux sont généralement rubanés. À l'origine, ils correspondent à d'importants dépôts de quartzites riches en fer, composés presque uniquement de silice et d'oxydes de fer. Ces formations sont toujours riches en silice libre.

Leur texture initiale est très fine (jaspillites), mais elles sont le plus souvent recristallisées en une mosaïque de quartz, donnant des quartzites finement lités contenant de l'oligiste (hématite), de la magnétite ou de la martite.

Les grains de quartz et d'oxydes de fer présentent des tailles allant de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres, selon le degré de métamorphisme subi.

Ces formations sont présentes dans tous les anciens socles précambriens du monde : Amérique du Nord, Brésil, Venezuela, Afrique, Scandinavie, Russie, Ukraine, Inde et Australie. Elles portent différents noms selon les régions, tels que itabirite, iron formation, taconite, bandes d'hématite, quartzite ou jaspillite.

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

Leur origine sédimentaire par précipitation chimique est généralement admise.

Selon une hypothèse récente, leur formation au Précambrien serait liée au développement de la vie dans les océans, à une époque où l'atmosphère était dépourvue d'oxygène. Les eaux, enrichies en CO₂ et donc acides, pouvaient dissoudre de grandes quantités de fer sous forme ferreuse.

La formation de ces quartzites aurait limité l'accumulation d'oxygène, car celui-ci était consommé dans l'oxydation du fer. L'oxygène n'a pu s'accumuler dans l'atmosphère qu'après la précipitation totale du fer, permettant ainsi l'apparition de nouvelles formes de vie.

Ces dépôts anciens ont subi un métamorphisme plus ou moins intense et parfois un fort plissement, ce qui a favorisé leur évolution et la formation de minerais riches en hématite.

Dans leur état peu altéré, ces quartzites contiennent entre 25 et 45 % de fer, ce qui nécessite leur enrichissement. La finesse des grains impose souvent une agglomération en boulettes (pellets) pour la valorisation industrielle.

Les premiers gisements exploités étaient ceux du Lac Supérieur (États-Unis), suivis de ceux du Québec-Labrador, du bassin de Krivoï Rog, du centre de la Suède et du Liberia (Bong)

2-2 -gisements associés

La plupart des grands gisements de minerais riches en hématite se forment à partir des quartzites ferrugineux, à la suite d'un lessivage de la silice dans des conditions géologiques et géographiques particulières, encore mal comprises. Dans certains cas, on observe également une remise en circulation d'une partie du fer dissous.

Malgré une origine similaire, ces gisements présentent des différences importantes liées au minerai initial, aux effets du métamorphisme et des déformations tectoniques (plissements), ainsi qu'aux conditions spécifiques de leur altération.

Le minerai peut avoir une dureté variable : parfois franchement rocheux, souvent sous forme de plaquettes friables et poreuses correspondant aux traces du litage du quartzite

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

d'origine (minerai en plaquettes, dit "biscuit"), et parfois encore plus friable, sous forme poudreuse très fine (bluedust observé dans certains gisements brésiliens).

Ces gisements constituent de grandes masses à très forte teneur en fer, autour de 65 %, avec une composition chimique simple dominée par l'hématite, parfois accompagnée de magnétite résiduelle sous forme de martite, de silice, de faibles quantités d'alumine (1 à 2 %, parfois plus localement) et rarement plus de 0,1 % de phosphore.

Ils sont associés à la majorité des formations de quartzites ferrifères, notamment au Canada, aux États-Unis, au Venezuela, au Brésil, en Inde, en Mauritanie et en Australie.

Ces gisements forment souvent des accumulations énormes pouvant atteindre plusieurs centaines de millions de tonnes et sont exploités dans de très grandes mines à ciel ouvert.

2-3 -minerais de ségrégation dans les roches acides

Ces minerais sont importants en raison de leur forte teneur en fer, de la grande taille des gisements qu'ils forment et du rôle qu'ils jouent dans l'approvisionnement des industries sidérurgiques du nord de l'Europe. Les gisements de Laponie suédoise appartiennent à ce type.

Ils sont toujours associés à des laves acides et contiennent principalement de la magnétite, de l'oligiste (martite) ainsi que de l'apatite.

La teneur en fer varie généralement entre 50 et 71 %, avec une teneur en phosphore comprise entre 0,8 et 2 %. Les éléments alcalins sont relativement abondants, tandis que le titane et le vanadium sont fréquemment présents.

Le terme "ségrégation" provient d'une ancienne interprétation de leur origine : on pensait que la minéralisation provenait du même magma que les roches porphyriques, dont elle se serait différenciée en profondeur.

Cependant, des études menées par des géologues suédois ont montré que les gisements de Laponie ont en réalité une origine sédimentaire chimique, liée à une activité volcanique sous-marine intense ayant formé la roche encaissante.

2-4 - minerais de fer oolithiques

Les minerais de fer oolithiques sont très répandus, mais ils ne sont pratiquement plus exploités aujourd'hui. Ils ont néanmoins constitué la base de l'approvisionnement de plusieurs sidérurgies européennes, notamment la sidérurgie française.

Ces gisements se sont formés durant les ères primaire et secondaire. Il s'agit de gisements sédimentaires marins, caractérisés par une texture oolithique. Les oolithes sont des grains ovoïdes formés par concrétion, constitués de couches concentriques, dont la taille varie généralement de 80 μm à environ 2 mm.

Sur le plan minéralogique, ces minerais présentent une grande diversité de minéraux : limonite, hématite rouge, oligiste, chlorites, magnétite, sidérose, pyrite, quartz et calcite. Les proportions de ces minéraux varient d'un gisement à un autre, et même au sein d'un même gisement.

La composition chimique reflète cette diversité. Les principaux éléments sont le fer, présent sous forme d'oxydes, d'hydroxydes, de carbonates et de silicates, ainsi que la silice et la chaux, ce qui permet de distinguer les minerais siliceux des minerais calcaires. L'alumine et le phosphore sont également présents, ce dernier se trouvant soit sous forme d'apatite, soit dispersé dans d'autres minéraux.[3]

On distingue plusieurs types de minerais oolithiques selon les minéraux dominants. En France, les principaux gisements exploités étaient ceux de Lorraine, de Normandie et d'Anjou.[3]

3-les propriétés du minerai de fer

-couleur :Le fer pur est un métal blanc argenté.

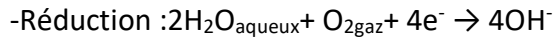
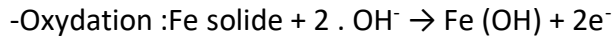
-Malléabilité et plasticité : Le fer est un métal très ductile et malléable.

- Degré d'oxydation et de réactivité : Le fer se limite aux degrés d'oxydation +2 et +3.

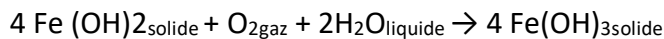
Le fer métallique est très sensible à la corrosion, réaction redox sous l'action de

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

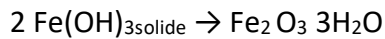
L'oxygène présent dans l'air. Cette réaction a lieu en présence d'air humide transformant le métal en oxyde de fer la rouille Fe_2O_3 Le mécanisme peut être décrit par les équations redox suivantes :



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

$(\text{NH}_4)_2 \text{Fe(SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dans le fer est coordonné à six molécules d'eau, permet de doser des oxydants puissants tels que MnO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, 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[4]

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

3-1 -propriétés physiques et technologiques du minerai

La connaissance de certaines Propriétés physiques et technologiques du minerai

De l'Ouenza est nécessaire pour une bonne appréciation des processus technologique de Traitement.

D'après cette propriété on peut classer ces minéraux parmi les roches dures et demidures et de moyenne dureté.

-minéraux à moyenne dureté :la distribution revient pour le fer : calcite et barytine goethite

- minéraux dures : pour le fer on a l'hématite, la limonite et la magnétite. Pour la gangue, On a le quartz et alumine.

Pour cela on peut constater que l'effet du broyage se manifeste en fraction des duretés propres de chaque phase ; les fractions grosses sont plus riches en quartz, Calcite et alumine, les fractions fines riche en hématite, magnétite et limonite. [5]

D'après la méthode de protodia konov, la valeur moyenne du coefficient de dureté

Du minerai de fer de l'ouanza est comme la suit :

Tableau4 :Valeur moyenne du coefficient de dureté du minerai de fer de l'Ouenza.[5]

Produit	Dureté m(F)
Minerai	3-8
Stérile	4-8

Tableau1:Valeur moyenne du coefficient de dureté du minerai de fer de l'Ouenza.[5]

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

De leur côté, les valeurs de la masse volumique du minerai sont représentées dans le Tableau suivant :

Produit	Masse volumique (ρ) T/m ³
Minerai riche	2.8
Minerai brun	2.75
Stérile	2.6

Tableau2: Valeur de masse volumique du minerai de fer de l'Ouenza.[5]

4-Classification des minerais de fer

Les oxydes qui forment la gangue vont évidemment diminuer la teneur en fer des minerais employés.

4-1-par rapport à leur teneur en fer :les minerais sont classés en :

- minerais pauvres : $Fe \leq 30 \%$
- minerais moyens : $Fe = 30 \% \div 50 \%$
- minerais riches : $Fe > 50 \%$

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

Minéraux magnétiques : $Fe = 50 \% \div 67 \%$

minéraux d'hématite : $Fe = 30 \% \div 45 \%$

minéraux de limonite : $Fe = 25 \% \div 45 \%$

minéraux carbonates : $Fe = 30 \% \div 40 \%$

4-2- les principaux minerais de fer sont

4-2-1-les sulfures

Dont les représentants principaux sont la pyrite et la pyrrhotite, ne sont jamais utilisés directement pour la production du fer à cause de l'effet fragilisant du soufre sur Les alliages

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

ferreux. Ils constituent en revanche une matière primaire importante pour la Production d'anhydride sulfureux, obtenu grâce au grillage. Il reste un résidu d'oxyde de Fer (« cendres de pyrite ») qui est pulvérulent et peut contenir encore des quantités Gênantes de soufre : son utilisation comme minerai de fer peut donc se révéler Problématique.

-La pyrite:est une espèce minérale composée de sulfure de fer, de formule FeS_2 , pouvant contenir des traces de Ni, Co, Cu, Zn, Ag et Au. La pyrite fut plus exploitée comme source de soufre que de fer. Cette industrie très polluante tend cependant à être remplacée par d'autres procédés. En 1985, 18 % du soufre était obtenu à partir de ce minerai. La quantité extraite est de moins de 8 % actuellement, soit 6,6 millions de tonnes extraites par an, dont 6 millions rien qu'en Chine. Elle n'est pas utilisée comme source de fer pour la fabrication de l'acier car le coût d'extraction est supérieur par rapport à l'hématite (Fe_2O_3) ou à la magnétite (Fe_3O_4). L'extraction du fer à partir de la pyrite permet également l'obtention d'une fonte, qui doit cependant être soufflée à l'oxygène pour éliminer le soufre en solution. Les derniers procédés de biolixiviation ont permis l'extraction du chrome à partir de la pyrite.

- Elle reste le minerai de base de la fabrication de l'acide sulfurique par le procédé des Chambres au plomb. Elle est exploitée dans beaucoup de gisements pour le traitement Métallurgique des poudres (pelletisation) dans la production de l'or, du cuivre, du cobalt, Du nickel...

-Sa dureté est entre 6 et 6,5 sur l'échelle de Mohs. La pyrite est faiblement soluble dans l'acide nitrique. Elle devient magnétique lorsqu'elle est chauffée ; lors de la fusion entre 1 177 °C et 1 188 °C, elle forme une boulette magnétique.

-La pyrite cristallise dans le système cristallin cubique, de groupe d'espace $\text{Pa}3$ ($Z = 4$ Unités formulaires par maille), avec le paramètre de maille = 5,416 Å (volume de la Maille $V = 158,87 \text{ \AA}^3$, masse volumique calculée = 5,02 g·cm⁻³).

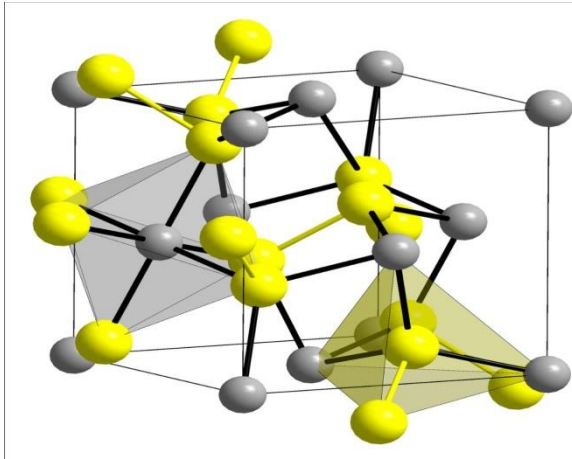


figure 1: Structure de la pyrite Jaune.

figure 2: Pyrite - mine de Batère, Orientales gris : Fe^{2+} .

4-2-2- les carbonates

On trouve la sidérite ou sidérose, $FeCO_3$, qui donne l'oxyde par calcination. À l'air Humide, la sidérite se transforme en lépidocrocite ou, plus rarement, en goethite. La Sidérite est fréquemment associée à la pyrite, la magnésite, la chaux, le manganèse. On Distingue le fer carbonaté spathique, minerai cristallin blanc, légèrement jaunâtre, très Répandu, et la sphérosidérite, en masses sphéroïdales, mélangé à des matières terreuses.

-La sidérite :est une espèce minérale composé de carbonate de fer de formule brute $FeCO_3$ avec des traces de Mn ;Mg ;Ca ;Zn ;Co. Rarement pure, la sidérite contient souvent du Magnésium et du manganèse et forme une solution solide continue avec la magnésite et la Rhodochrosite.



figure 3:Sidérite – Carrière dufigure 4:Sidérite taillée– Minas Gerais

,Brésil [2] Rivet , Tarn – (12×7cm)

4-2-3-les oxydes

- La magnétite :La magnétite est une espèce minérale composée d'oxyde de fer(II,III), De formule Fe_3O_4 (parfois écrit $FeO \cdot Fe_2O_3$), avec des traces de magnésium Mg, De zinc Zn, de manganèse Mn, de nickel Ni, de chrome Cr, de titane Ti, De vanadium V et d'aluminium Al. La magnétite est un matériau ferrimagnétique.

- La dureté :Échelle de Mohs 3,5 – 4,5



figure 5:magnetite [3]

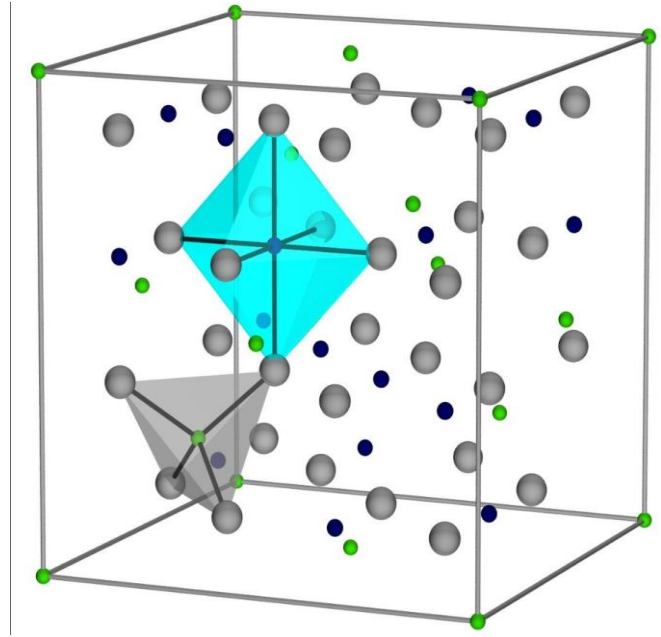


figure 6:Structure cristalline de la Magnétite[4]

-L'hématite : C'est une espèce minérale composée d'oxyde de fer de formule Fe_2O_3 avec Des traces de titane Ti, d'aluminium Al, de manganèse Mn et d'eau H_2O . C'est le Polymorphe α de Fe_2O_3 , le polymorphe γ étant la maghémite. C'est un minéral très Courant, de couleur noire à gris argenté, brun à rouge, ou rouge, avec de nombreuseFormes cristallines. Les cristaux peuvent atteindre 13 cm.

★ L'hématite α - Fe_2O_3 , est le composant le plus important des minéraux de fer

Traités dans l'industrie sidérurgique. Elle est comporte plusieurs types :

- l'oligiste cristallise en rhomboèdres
- la spéularite consiste en agrégats de cristaux d'hématite à face lisse comme un miroir, L'hématite rouge ordinaire se présente en masses fibreuses, terreuses ou compactes
- l'hématite rouge oolitique est formée de petites sphères agglomérées
- la martite est une hématite en pseudomorphose de la magnétite
- Densité : 4,9 – 5,3

- Échelle de Mohs : 5,5 – 6,5 g/cm³ .[6]

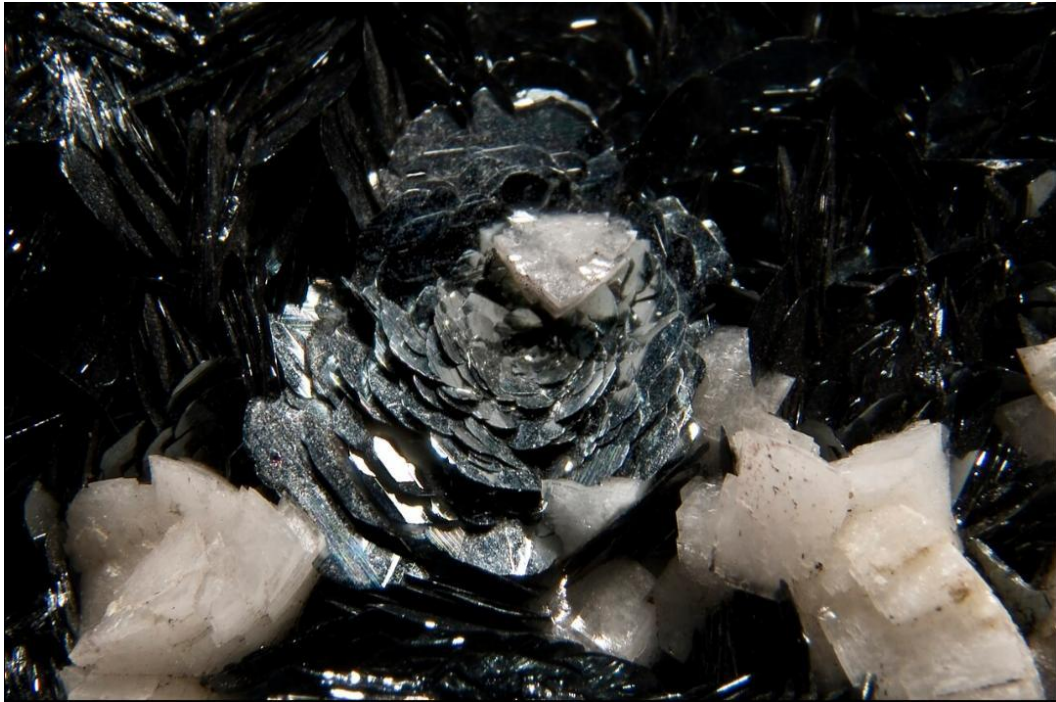


figure 7:Hématite (Rose de fer)-Batère France [5]

5-Caractéristiques des différents types des minerais de fer

Il existe à travers le monde un nombre important de roches contenant du minerai fer. Elles sont en général réparties en plusieurs catégories : les minerais oxydés, les Carbonates, les minerais sulfurés et les silicates

5-1-minerais de fer carbonatés

-Les carbonatés

Minerai	Répartition Chimique	Couleur	Caractéristiques
Sidérite	48,20% fer	Blanc à gris vert,	Les sidérites contiennent
FeCO₃	37,99% CO ₂	elle peut virer au	en
	13,81%	brun, en	général une proportion
	Oxygène	présence	assez

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

d'humidité	variable de calcium, magnésium ou manganèse.
------------	--

Tableau 3:Caractéristique des minerais de fer carbonates

5-2-minerais de fer oxydé

Minerai	Réparation chimique	Couleur	Caractéristiques
Magnétite Fe₃O₄	72,36% fer 27,64 % oxygène	Gris foncé à noir	C'est une roche très magnétique. Elle a pris de plus en plus d'importance avec le développement des techniques de concentration magnétique et l'utilisation accrue de produits de haute qualité.
Hématite Fe₂O₃	69,94% fer 30,06% oxygène	Gris acier à rouge vif	L'hématite est l'un des principaux minerais de fer. Cette roche possède une dureté qui peut aller de 5,5 à 6,5 selon la famille à laquelle elle appartient. C'est la forme de roche la plus répandue à la surface de la terre et c'est également celle qui est le plus souvent employée dans l'industrie.
Limonite (ou Hématite brune) FeO(OH).n	62,85% fer 27,01% oxygène 10,14% eau	Jaune ou marron, parfois noir	Les limonites sont également une source importante de minerais à travers le monde. Elles sont à la fois oxyde et hydroxyde de fer. La goëthite qui est une sorte de limonite

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

H₂O			se rencontre souvent en association avec de l'hématite.
Ilménite	36,80% fer	Noir	On la rencontre parfois en association avec de petites quantités de magnétite.
FeTiO₃	31,57% titane		Elle est généralement exploitée pour le titane qu'elle contient. Le minerai de fer peut être alors extrait en tant que sous-produit au cours du traitement de la roche.
	31,63% oxygène		Contrairement à l'hématite ou à la magnétite, cette roche n'est pas magnétique.

Tableau 4: Caractéristique des minerais de fer oxydes

5-3-minerais de fer silicate

Minerai	Caractéristiques
Chamosite, Stilpnomélane, Greenalite, Minnesotaite, Grunerite.	La formulation chimique est difficile car nous sommes en présence d'un groupe très complexe d'aluminosilicates alcalins de magnésium, aluminium, manganèse, baryum et fer. Les minerais de ce type, bien que d'une importance assez limitée en tant que tels pour la production de minerai de fer, présentent un certain intérêt en tant que source de minerais oxydés.

Tableau 5 : Caractéristique des minerais de fer silicatés

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

5-4-minerais de fers sulfurés

Minerai	Réparation chimique	Couleur	Caractéristiques
Pyrite FeS₂	46,55% fer 53,45% soufre	Jaune cuivré	Cette roche est souvent connue sous le nom d'or des fous du fait de sa grande ressemblance avec l'or. Elle est la roche contenant du minerai de fer la plus répandue. Comme l'ilménite, elle n'est souvent pas exploitée pour le fer qu'elle contient mais pour sa teneur en soufre. Le fer en est le sous-produit le plus communément extrait.
pyrrhotite FeS₂	60,4% fer 39,6% soufre	Bronze	
marcassite FeS₂	46,55% fer 53,45% soufre	Jaune cuivré	Très proche de la pyrite, de même composition chimique mais de forme cristalline différente

Tableau 6 :Caractéristique des minerais de fer sulfurés [7]

6-Caractéristiques du minerai

Le minerai de fer exploité dans la mine de l'ouanza est principalement composé

D'hématite, en dehors de l'hématite, on rencontre aussi la sidérose, la gothite, la malachite, la baryte, la galène et la limonite.

Le minerai de fer exploité est considéré comme un minerai ayant une bonne teneur (33 - 60%) dont une partie sert à alimenter le foyer sidérurgique d'El-Hadjar , et une autre est destinée à l'exploitation .

Les roches encaissantes sont : la calcite, la marne, et le quartzite. Cependant, on remarque le plus souvent les calcaires.[8]

7-La composition chimique de minerai de fer

Le minerai de fer est une roche riche en fer, présente en quantité suffisante pour être exploitée de manière économiquement rentable par des procédés métallurgiques.

Selon la nature des combinaisons chimiques, il existe plusieurs types de minerais de fer :

- La magnétite (Fe_3O_4), sa couleur varie du gris foncé au noir.
- L'hématite rouge (Fe_2O_3), sa couleur varie du rouge foncé au gris foncé.
- L'hématite brune ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), sa couleur varie du noir au jaune.
- Fer spathique ou sidérose (FeCO_3), sa couleur varie du jaune pâle au gris .

Le tableau ci-dessous nous donne un aperçu sur la composition chimique des différents minerais :[9]

Types	Fe	Mn	P	SiO ₂	AlO ₃	CaO	MgO	CO ₂	Humidité
La magnétite (Fe₃O₄)	50- 70	0.04- 0.2	0.02- 3	0.1-7	0.3- 1.2	1-6	0.5-1.5	-----	1
L'hématite rouge (Fe₂O₃)	40- 70	0.1-1	0.1- 0.8	5-18	1-6	0.5- 5	0.2-1	0.8	1-10
L'hématite brune (Fe₂O₃- H₂O)	25- 58	0.5-5	0.1-1	5-18	1-10	1-25	0.2-2	8- 30	5-15

Tableau 7 :Composition chimique et différentes teneur en oxydes .[9]

Certains élément additif du minerai de fer sont indésirables et d'autres sont utiles.

Les élément nocif sont le soufre ,phosphore ,arsenic ,plomb ,zinc, cuivre ,le reste tels

Que Mn ,Cr ,NI ,Al, Na ,Mo sont utiles.

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

Gisements	Type de minerai	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Mn	S	P	Réserves en (MT)
Ouenza	Hématite rouge	52	3.6	0.5	4.5	2	0.05	0.05	100
Boukhadra	Hématite Rouge (sidérose)	58	4	0.6	2.5	1.5	-	0.03	50
Gara-Djebilet	Magnétite (lithiques)	54/58	4.7	1.5	1.5	-	-	0.8	3245
Méchai Abdelaziz	Hématite	52	-	-	-	-	-	0.78	1960
Timezrit	Hématite Sidérose	52/56	2	-	-	-	-	0.01	4
Zaggar	Hématite Sidérose	37/51	5.7	-	-	-	0.02	0.02	2
Béni-saf	Hématite Goethite	50/60	5	-	-	-	-	0.02	2
Khan guet el-mouhad	Hématite Goethite	52	3.2	-	-	-	-	0.02	2
Ain Babouche	Goethite	47/52	5-12	-	-	-	0.1	0.80	12
Béni douale	Magnétite	48	-	-	-	-	-	0.01	2

Tableau 8 : Quelques caractéristiques et composition chimique des minerais de fer Algériens.[10]

8-Production de minerai de fer

8-1-dans le monde :

À l'échelle mondiale, la production de minerai de fer devrait atteindre environ 2,5 milliards de tonnes en 2025. Cette estimation est fondée sur les tendances actuelles du marché et la

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

demande croissante de fer pour diverses industries, notamment la construction et l'automobile.[11]

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

Tableau 9 :Liste des plus grands pays producteurs de fer De 2013 à 2019.[12]

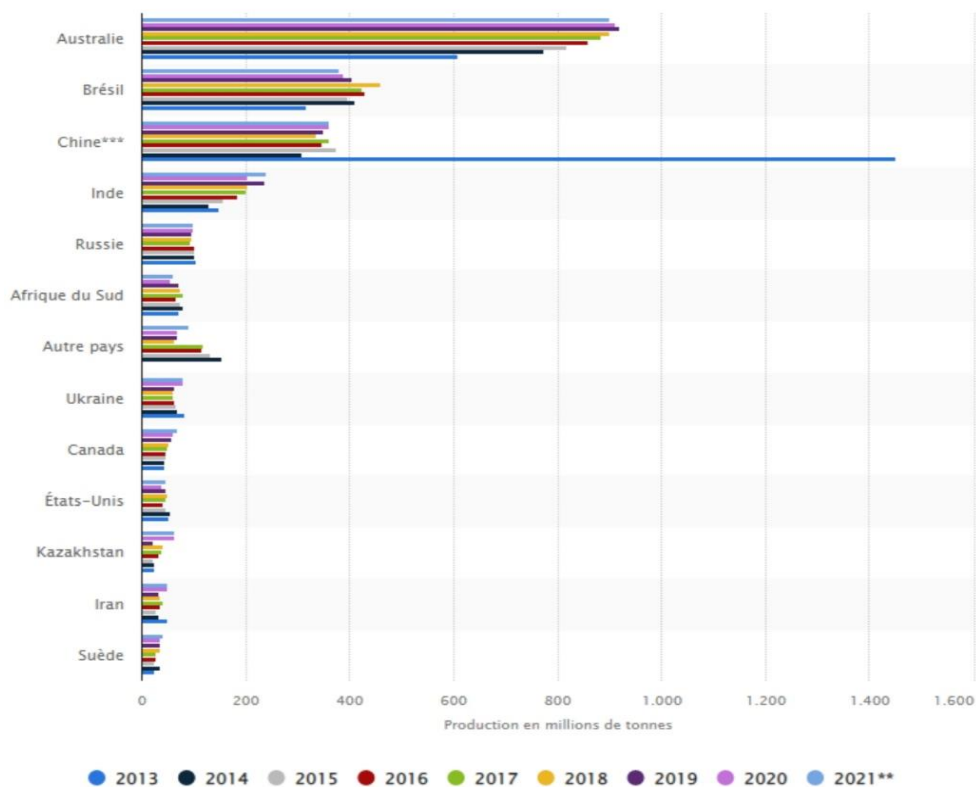


figure 8:Graphique des plus grands pays producteurs de fer de 2013 à 2021 [17]

La production mondiale d’acier pour 2021 a atteint 2490 million de tonnes, avec une augmentation de 4,5% par rapport à l’année précédente, selon les données de la Fédération internationale de l’acier.

Australie est le plus grand producteur de minerai de fer qui possède d’énormes réserves de minerai de fer à faible teneur, il en ressort que le volume de la production de minerai de fer en Australie a augmenté fortement durant cette période, passant d’environ 609 millions de tonnes en 2013 à plus de 930 millions de tonnes en 2021.

L’Brésil vient au deuxième rang mondial, il s’avère que le volume de la production brésilienne a augmenté durant cette période atteignant environ 480 millions de tonnes en 2021.

En troisième rang vient la Chine avec une production annuelle de 350 millions de tonnes

8-2-la production d'acier entre 1950 et 2016

Au cours des 60 dernières années, le monde a produit d'énormes quantités d'acier en tant que produit de base indispensable.

La production d'acier a parfois augmenté plus que nécessaire, mais cela a contribué à sa disponibilité à des prix abordables pour tous.[12]



figure 9:L`evolution de la production d`acier entre 1950 et 2016 [12]

8-3-dans le monde arabe

Dans le monde arabe Les ressources en minerai de fer sont disponibles dans laMajorité des pays arabes mais sont diversement réparties. Tonte en quantité qu'en qualité Les réserve sont estimées à peu près 14milliards de tonnes actuellement quatre pays qui Dominent la production du minerai de fer (Mauritanie, l'Algérie, la Tunisie, Egypte) etAussi alimentent leurs usines sidérurgique par le minerai local. La part de Mauritanie est La plus importante (production en 2015 ; 11.6MT).[12]

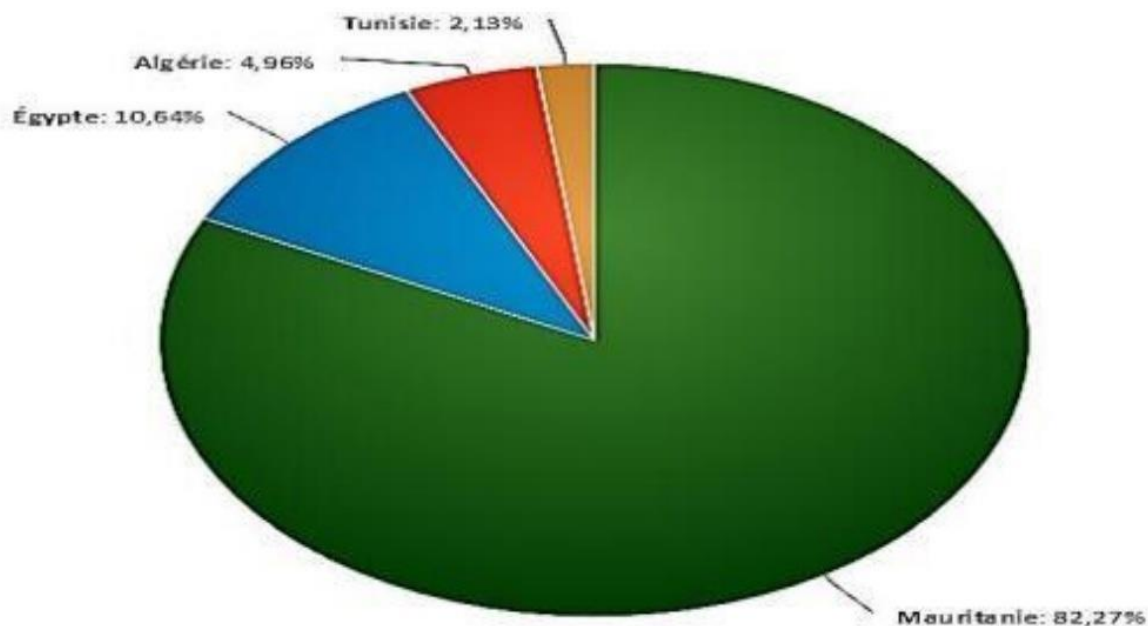


figure 10: Production arabe du minerai fer en 2015 [12]

Pays	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Mauritanie	11,109	11,176	11,760	12,531	13,306	11,600
Egypte	1,4	1,5	3,93	1,422	1,5	1,5
Algérie	1,4	1,6	1,784	1,067	0,911	0,7
Tunisie	0,15	0,2	2,23	2,43	0,308	0,3
Total de Production du minerai de fer en (MT)	14,059	14,476	17,103	15,263	16,025	14,1

Tableau10: L'évolution de la production du minerai de fer dans le monde arabe.[12]

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

8-4-en algérie

L'Algérie se trouve dans un rang très important parmi les pays arabes Producteur et consommateurs de minerai de fer. Les gisements qui sont actuellement en Exploitation sont ; l'Ouenza, Boukhadra et Beni-Saf qui assurent toute la production Algérienne en minerai de fer.[12]

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Production	1400	1600	1784	1067	911	700

Tableau 11 :La production du minerai de fer en Algérie (×103).[12]

9 -Les ressources minérales en Algérie

Les ressources minérales en Algérie sont caractérisées par une grande diversité et une répartition géographique importante, liée à la complexité de son cadre géologique. Le pays dispose de gisements métalliques (fer, zinc, plomb, or) et non métalliques (phosphates, calcaires, argiles), qui constituent une base stratégique pour le développement industriel national. Ces ressources sont essentiellement localisées dans les régions du Nord et du Sahara, où les conditions géologiques ont favorisé la formation de minéralisations économiques exploitables.[13]

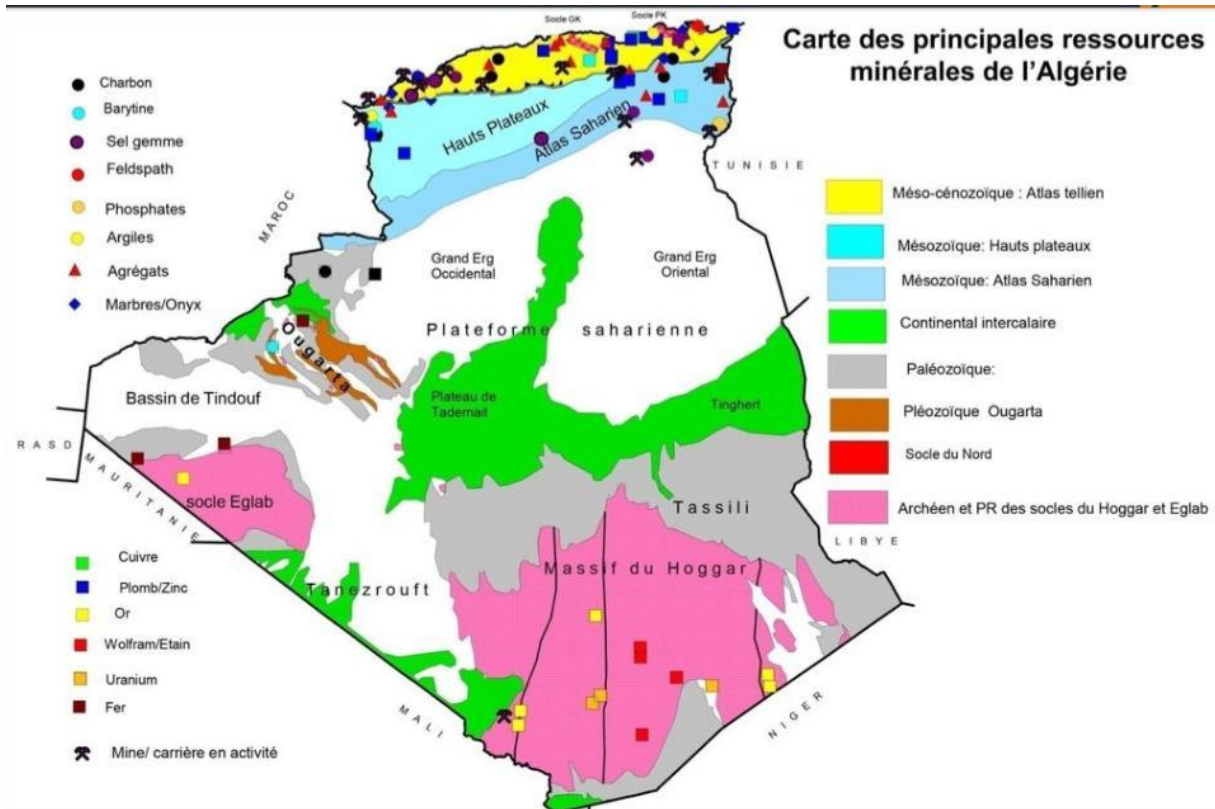


figure 11:Cartes des principaux gisements [14]

10-Les réserves en minerai de fer

10-1-les reserves du minerai de fer au niveau national

L'essentiel du potentiel géologique se trouve au Sud-Ouest du pays avec 3,5 Milliards de tonnes à 57% Fe. Il s'agit des gisements de Mecheri Abdelaziz et de Gara Djebilet, situés à 250 km à l'Est de Tindouf.

Le potentiel localisé au Nord du pays est évalué à environ 70 millions de tonnes Réparties entre les gisements d'Ouenza et Boukhadra dans la wilaya de Tébessa (60 Millions de tonnes) et l'indice de Djebel Hanini dans la wilaya de Sétif (12 Millions de tonnes à 60% Fe). Par ailleurs, la recherche minière a dénombré près de 150 occurrences ferrifères sur l'ensemble du pays. Les occurrences sont réparties dans l'Ougarta, le Bassin de Tindouf, dans le Hoggar et la Chaîne de l'Atlas.

Les principaux gisements de fer en Algérie sont les suivants :

- Gara Djebilet : 1 540 Mln de tonnes, de 56 % de Fer,

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

- Mecheri Abdelaziz : 702 Mln tonnes, 52 % de Fer,
- Ouenza : 80.3 Mln tonnes, 59.5 % de Fer
- Boukhadra : 41.7 Mln tonnes, 48 % de Fer,
- Beni Saf : 15.3 Mln tonnes, 53% de Fer
- Ain Mokra : 5.7 Mln tonnes, 52% de Fer.
- Chaâbat El Ballout : 5.3 Mln tonnes, 53 % de Fer,
- Ain Babouche : 4.2 Mln tonnes, 40 % de Fer,
- Anini : 3.7 Mln tonnes, 55 %, de Fer
- Rouina : 2.8 Mln tonnes, 40 %, de Fer. [15]

10-2-les reserves en minerai de fer au niveau mondial

Il n'y a aucun système mondial admis pour classer les réserves Un système

Développé aux Etats-Unis (US Bureau of Mines & US Geological Survey, 1981 ; US Geological Survey, 1982) définit les réserves en tant que «ressources identifiées enMinerai qui peut être extrait de manière profitable au moyen de la technologie Existante et dans les conditions économiques actuelles» .Le tableau suivant donne lesImportants pays qui ont des grandes réserves en minerais de fer.

Pays	Teneur en fer	Minerai brut
Australie	23.000	48.000
Brésil	15.000	29.000
Russie	14.000	25.000
Chine	6.900	20.000
Autre pays	9.500	18.000
Ukraine	2.300	6.500
Canada	2.300	6.000
Inde	3.400	5.500
États-Unis	1.000	3.000

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

Iran	1.500	2.700
Kazakhstan	900	2.500
Suède	600	1.300
Afrique de sud	690	1.100

Tadleau 12: les plus grandes réserves de minerai de fer dans le monde en 2019 (en Millions de tonnes).[15]

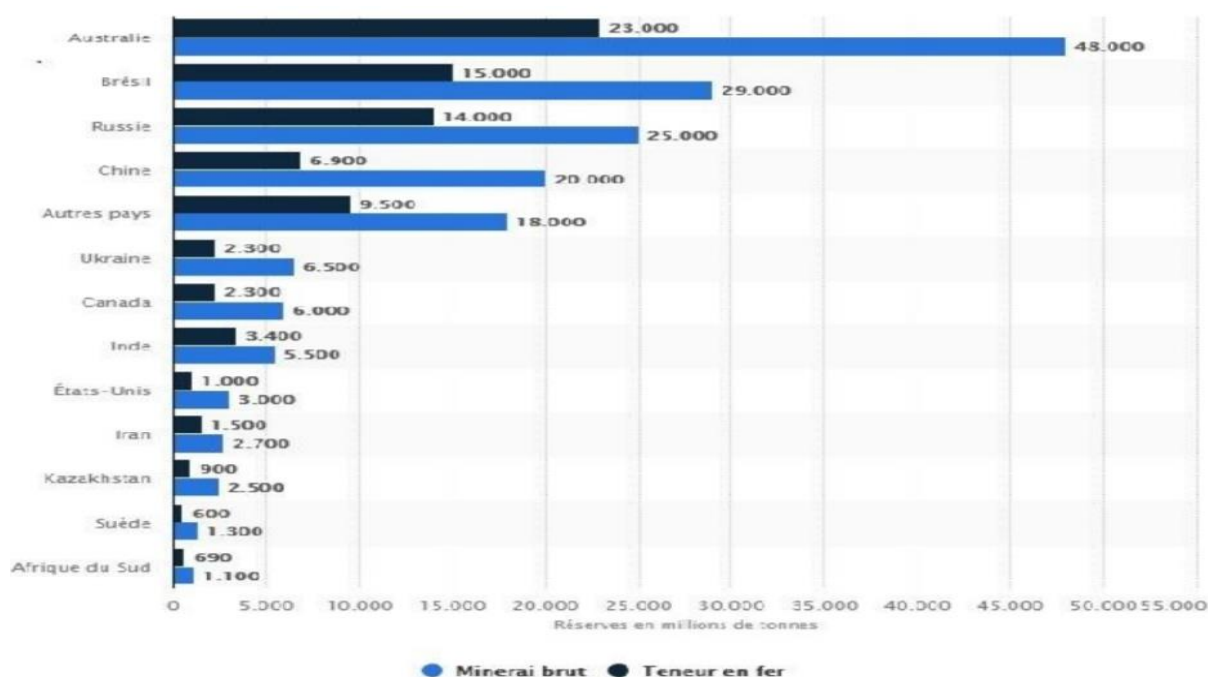


figure12: les réserves de minerai de fer dans le monde en 2019. [15]

11- Le prix du minerai de fer

Le minerai de fer est tombé à 107,45 USD/T le 2 avril 2026, en baisse de 0,06 % par rapport au jour précédent. Au cours du mois dernier, le prix du minerai de fer a augmenté de 7,91 % et est en hausse de 3,14 % par rapport à la même période l'année dernière, selon les transactions sur un contrat pour différence (CFD) qui suit le marché de référence pour cette matière première.

Les prix du minerai de fer font référence au coût et au fret à l'importation de minerai de fer fin à 62 % en provenance de Chine pour une livraison au port chinois de Tianjin. Il est utilisé pour fabriquer de l'acier pour les infrastructures et autres projets de construction. Les plus

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

grands producteurs de minerai de fer sont la Chine, l'Australie et le Brésil. D'autres pays producteurs incluent l'Inde, la Russie, l'Ukraine et l'Afrique du Sud.[16]

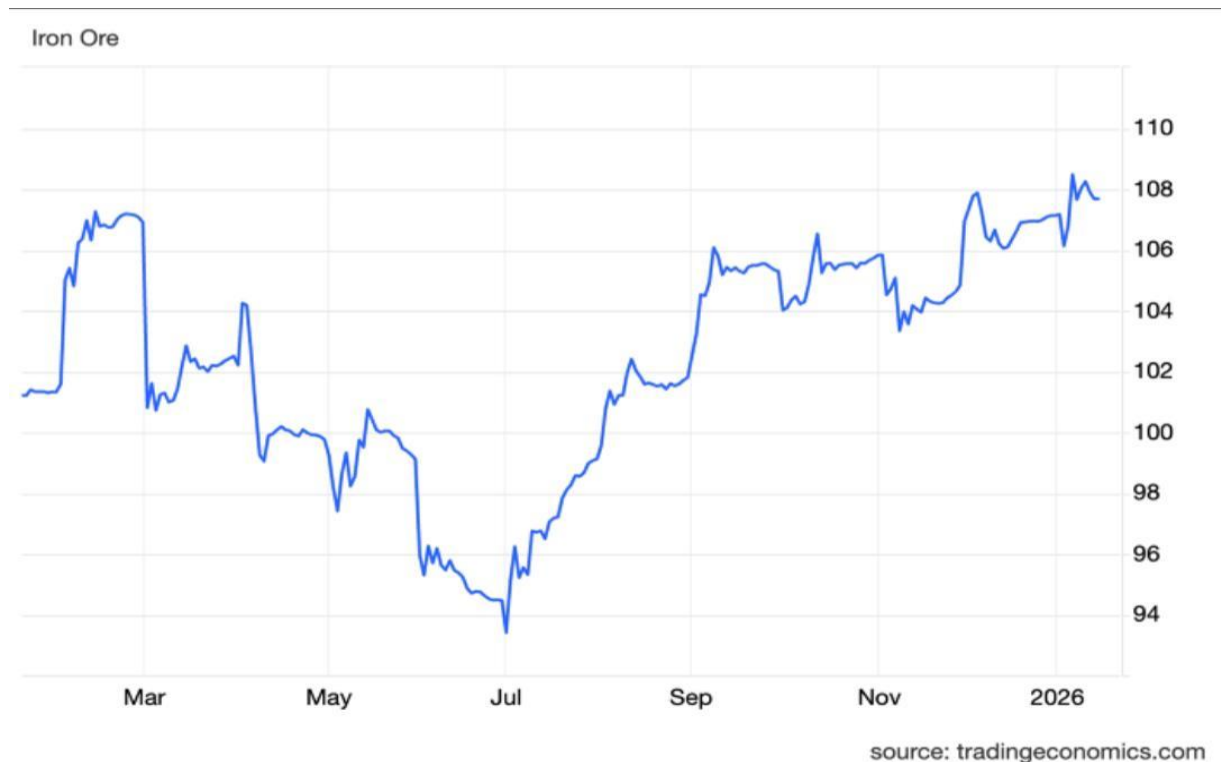


figure 13: evolution du prix du minerai de fer (USD/Tonne) sur le marché international [17]

12- Utilisation du fer dans le monde

À l'échelle mondiale, le fer est l'un des éléments les plus abondants et les plus utilisés dans plusieurs secteurs. Le minerai de fer est principalement destiné à la fabrication de l'acier (environ 98 %), tandis que les 2 % restants sont utilisés dans diverses applications industrielles et scientifiques.

Le fer est employé dans plusieurs domaines, notamment :

- Industrie de la construction :

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

Le fer est largement utilisé dans le domaine du bâtiment grâce à sa résistance, sa flexibilité et sa durabilité. Il entre dans la réalisation des structures, des ponts et d'autres infrastructures.

- Automobiles :

Il constitue un matériau essentiel dans l'industrie automobile, où il est utilisé dans la fabrication des moteurs, des carrosseries et de divers systèmes mécaniques.

- Fabrication :

Le fer est indispensable dans la production industrielle, notamment pour la fabrication des machines, des outils, des équipements et des appareils électroménagers.

- Médecine :

Il joue un rôle important dans le corps humain, en particulier dans la formation de l'hémoglobine, ce qui le rend essentiel dans le traitement des carences en fer.

- Appareils électriques :

Le fer est utilisé dans la fabrication de plusieurs appareils électriques comme les réfrigérateurs, les machines à laver et les climatiseurs.

- Ustensiles de cuisine :

Il sert à produire différents ustensiles tels que les casseroles, les poêles et les couverts.

- Agriculture :

Le fer intervient dans la fabrication des machines agricoles ainsi que dans les structures destinées à l'activité agricole.

Les 2 % restants du minerai de fer sont utilisés dans des applications spécifiques, comme :

- Poudre de fer : pour certains types d'acier, des aimants, des pièces automobiles et des catalyseurs.

- Fer radioactif (fer 59) : utilisé en médecine et comme traceur dans la recherche biochimique et métallurgique.

- Bleu de fer :utilisé dans les peintures, les encres, les plastiques, les produits cosmétiques et les finitions industrielles.

- Oxyde de fer noir :utilisé comme pigment, en métallurgie, en médecine, dans les encres magnétiques et dans l'industrie électronique.

Ces différentes utilisations montrent l'importance du fer dans plusieurs domaines, notamment l'industrie, la médecine et la chimie.[18]

13-La consommation du minerai de fer

13-1-au niveau national

13-1-1-complexe d'el hadjar

C'est un groupe sidérurgique mondial, ayant son siège social à Luxembourg étant le plus grand producteur d'acier au monde avec 96,1 millions de tonnes produites en 2013 .

Le complexe Sider El Hadjar d'Annaba, dont l'activité effective a repris le 24 avril dernier, devra réaliser d'ici fin 2017 une production globale de 680.000 tonnes de produits ferreux destinés à la commercialisation. La capacité de production actuelle du complexe a atteint 2.000 tonnes d'acier liquide par jour.

13-1-2-complexe bellara

JIJEL- Jijel s'apprête à se transformer en la fin d'avril en un important pôle industriel d'Afrique du Nord et arabe avec l'entrée en activité du complexe sidérurgique de Bellara qui sera "le second poumon" de l'industrie sidérurgique algérienne après le complexe Sider El Hadjar d'Annaba. Fruit d'un partenariat conforme à la règle 49/51 entre l'entreprise Sider, le Fonds national d'investissement et Qatar steel international, ce complexe débutera dans les prochains jours les tests de production avec une capacité annuelle de 2 millions tonnes de fer destinés à la

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

construction qui passera à l'avenir à 5 millions tonnes.

Devant porter à 4 millions tonnes sa production au premier semestre 2018, ce complexe fournira les divers types de fer destinés au bâtiment et travaux publics ainsi que l'acier plat de l'industrie de chemin de fer et accompagnera l'évolution de la construction nationale d'automobile et navire projetée dans le plan quinquennal du gouvernement.

Ce complexe sera en outre "un appui fort" pour le complexe sidérurgique Sider El Hadjar d'Annaba et contribuera à "colmater" la brèche des importations nationales de fer évaluées à 3 millions tonnes, représentant 60 % de la consommation nationale, avec la perspective d'atteindre l'autosuffisance début 2018 avait également indiqué le ministre de l'industrie.[19]

Conclusion

Au terme de ce chapitre, il ressort que le minerai de fer représente l'un des constituants les plus abondants de la croûte terrestre et qu'il occupe une place essentielle grâce à ses multiples usages industriels. Nous avons également identifié les principales zones de réserves ainsi que les pays leaders dans sa production à l'échelle mondiale. De ce fait, le fer demeure un pilier incontournable du développement de l'industrie moderne.

CHAPITRE 3

Technologie d`enrichissement du minerai de fer dans le monde

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

Introduction :

La minéralurgie se définit comme l'ensemble des méthodes de traitement utilisées pour enrichir un minerai extrait est enrichi afin d'obtenir un concentré riche en minéral utile et un taux faible de gangues stériles considérées comme des éléments nuisibles.

Les méthodes de traitements comportent : le concassage, le broyage, le criblage, la classification, la séparation gravimétrique, la séparation magnétique, la flottation, la séparation électrostatique.

Ce chapitre comporte les principes et les avancements récents dans le domaine d'enrichissement pour les minerais de fer dans le monde.

1-Procèdes d'enrichissement du minerai de fer

1-1-séparation magnétique

C'est la technique la plus utilisée et la plus développée dans le traitement de minerai de fer. Sont utilisation dans notre cas se résume en deux niveaux de séparation, après avoir une préparation du produit par deux stades de concassage (grossier par concasseur à mâchoire et fin par concasseur cône) et broyage à sec (broyage autogène) jusqu'à $<500\mu\text{m}$ avec une classification.

Le premier niveau consiste à une séparation magnétique à haute intensité (SMHI), pour une récupération maximale de fer, par un séparateur à circuit conventionnel (électroaimant) dont l'intensité du champ est réglable, ce qui nous permettra (dans nos prochains essais) de choisir l'intensité nécessaire, sachant que le minerai à séparer est de l'hématite à faible susceptibilité magnétique.

Le second niveau est une séparation magnétique à basse intensité (SMBI) : le premier niveau ne peut pas aboutir à un concentré définitif, et comme le produit est de l'hématite avec toute la gangue qui l'accompagne, la SMI ne peut être efficace qu'avant de procéder à un grillage magnétisant préalable à 800°C du produit, afin de lui donner une susceptibilité

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

magnétique élevée. A ce niveau nous attendant un concentré définitif, mais un rendement de séparation plus ou moins faible. [1]

1-2- séparation électrostatique

La séparation électrique est basée sur le fait que les minéraux et les matériaux peuvent être chargés différemment et, par conséquent, séparés lorsqu'un champ électrique externe est appliqué. Cette méthode utilise les différences inhérentes de la charge de friction, la conductivité électrique et les propriétés diélectriques entre les composants des substances. La force électrostatique est proportionnelle à la charge de la surface des particules et l'intensité du champ électrique, les particules fines et légères peuvent être grandement influencé par la force électrostatique. Par conséquent, une séparation efficace des particules peut être obtenue

Il existe deux types de séparateurs électrostatiques: les séparateurs électrostatiques et les séparateurs électrodynamiques. L'application de la séparation électrostatique pour le minerai de fer est décrite depuis ont appliqués la séparation électrique pour l'enrichissement du minerai de fer pauvre issu de la mine d'El Ouenza, les résultats obtenus sont significatives avec une efficacité de la méthode qui atteint 42,9% où le concentré obtenu a une teneur de 58,6% et taux de récupération 73,3%. [2]

1-3- séparation gravimétrique

Les méthodes d'enrichissement de minerai de fer sont développées pour inclure le traitement des minerais en faible teneur (pauvres).

Les minerais de fer contenant les silicates s'enrichissent facilement en utilisant un simple lavage ou les grains de silice fins et friables peuvent se séparer du fer par une classification hydraulique. La technologie d'enrichissement des minerais de fer pauvres a été développée largement dans la région de Mesabi 3Minnesota- pendant les années 1950-1960 et a été appliqués pour les gisements similaires [2]

1-4- séparation par flottation

La flottation est fondée sur les propriétés physico-chimiques de la surface des minéraux. En effet, certains minéraux plongés dans un liquide sont hydrophobes, leur surface ne mouille

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

pas et qui remontent à la surface du bain. D'autres espèces minérales, par contre, sont hydrophobes, elles ne suivent pas les bulles d'air et restent en suspension dans le bain. Ou le professeur Eigueless K. a classé les différents minéraux en sept groupes de flottabilité.

La flottation est la méthode d'enrichissement de minerai la plus utilisée dans le monde. On l'emploie industriellement pour concentrer les minéraux de toutes les substances minérales métalliques et non métalliques, particulièrement les minéraux sulfurés qui constituent la fraction la plus importante des ressources minérales exploitables.[2]

2- Traitement de minerai de fer

Le traitement du minerai de fer comprend un ensemble d'opérations visant à améliorer la teneur en fer et à éliminer les gangues associées telles que la silice et l'alumine. Ces opérations commencent généralement par une préparation mécanique du minerai incluant le concassage et le broyage afin de réduire la granulométrie et libérer les minéraux ferreux.

Ensuite, le minerai est soumis à des procédés de concentration, principalement la séparation magnétique à haute ou basse intensité, selon le type de minerai (magnétite ou hématite). Dans certains cas, un grillage magnétisant est utilisé pour transformer l'hématite en magnétite afin d'améliorer la réponse magnétique.

Les opérations de broyage et de séparation représentent une part importante du coût global de traitement, mais elles permettent d'obtenir un concentré de fer de qualité commerciale adapté aux procédés sidérurgiques.[2]

2-1-libération et classement

La mise au point de toute technique de concentration impose comme préalable, broyage et classement granulométrique adaptés aux dimensions des constituants, que l'on cherche à séparer. Certaines séparations nécessitent en outre parfois un contrôle de l'humidité par séchage. Un minerai peut être caractérisé par plusieurs niveaux d'hétérogénéité à chaque niveau correspondra un choix de techniques et un bilan optimal de séparation. Dans le cas des procédés physiques ou nous sommes placés, la séparation théoriquement la plus parfaite devrait se situer au niveau de la libération des constituants minéraux. Logiquement, les opérations de pré-concassage et de concassage grossier sont du domaine des appareils classiques à

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

mâchoires à giration et à cylindres dentés, ce dernier type paraît spécialement adapté la réduction des minerais limnétiques colmatant et peu résistants.

Les appareils giratoires ou à cône, dans le cas des minerais compacts et durs.

Les appareils travaillant par chocs et percussions pour les minerais plus tendres.

On assiste actuellement, dans le traitement de minerais qui jouent le rôle de corps bruyants, comme les boulets classiques. Appliquée à un minerai brut pré concassé cette solution permet de simplifier considérablement l'ensemble du circuit de concassage-broyage, par suite du très grand rapport de réduction qu'il est possible de réaliser un seul appareil. [1]

2-2- valorisation de différents types de minerai de fer :

Les traitements des grenus par le grillage magnétisant sont suivis par la séparation magnétique à basse intensité, aboutit à la séparation d'un concentré partiel titrant de 45,5% de Fe, 8,5% de SiO₂ et de 10% de CaO, avec un rendement en poids (par rapport à l'entrée au grillage magnétisant) de 90% x 47% (SMBI) =42,5M. Au total, le concentré final regroupe les fines de broyage : le concentré partiel de la SMHI, le concentré partiel de grillage magnétisant + SMI). [3]

2-2-1-valorisation des minerais hématite brune :

Après la préparation mécanique du minerai, le déschlammage des minerais (avant le jigage) s'effectue dans des spirales qui assurent l'augmentation de la fraction solide de 11% à 70%, et la diminution des fines de 30% à 14%. Pour l'augmentation de la teneur en fer dans les concentrés, on procède au grillage, suivi par (SMBI), la fraction magnétique est rebrodée jusqu'à 55% en classe de 0,074 mm. Le concentré obtenu est de 58% à 60% de fer avec un degré d'extraction de 80% à 85%. [3]

2-2-2-valorisation des minerais de fer des quartzites oxydés :

Pour l'enrichissement des minerais de fer de ce type sus-cité, on applique en premier stade après le criblage, l'enrichissement par milieu dense, les concentrés de la suspension lourde et les refus du criblage passent au broyeur. Le concentré du premier stade s'obtient par le criblage fin de la fraction magnétique de (grillage +SMBI), tandis que la fraction non

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

magnétique sera traitée une troisième fois par la SMBI, la fraction magnétique de cette dernière passe au rebroyage puis une autre fois à la SMBI pour l'obtention du concentré final (concentré du deuxième stade). [3]

2-2-3-valorisation du minerai de magnétite :

Le minerai principal est la magnétite, avec une faible teneur en fer de 30 à 32%. La réduction du tout-venant se passe par trois étages de concassage, pour l'obtention du concentré de premier stade on utilise la séparation magnétique à basse intensité à sec. La fraction non magnétique est épurée puis broyée pour passer à la séparation magnétique humide en deux étages pour avoir un concentré final (minerai brut :Fe32%, concentré :Fe=60% et les rejets :Fe=18%). [3]

3-Exemple de schémas de traitement de minerai de fer

Le traitement des différents types de minerais de fer dans le monde sont représentés à travers les schémas des figures : III.4.a, III.4.b, III.4.c, III.4.d. Ces schémas peuvent être associés à un autre procédé soit la séparation magnétique comme procédé principal.

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

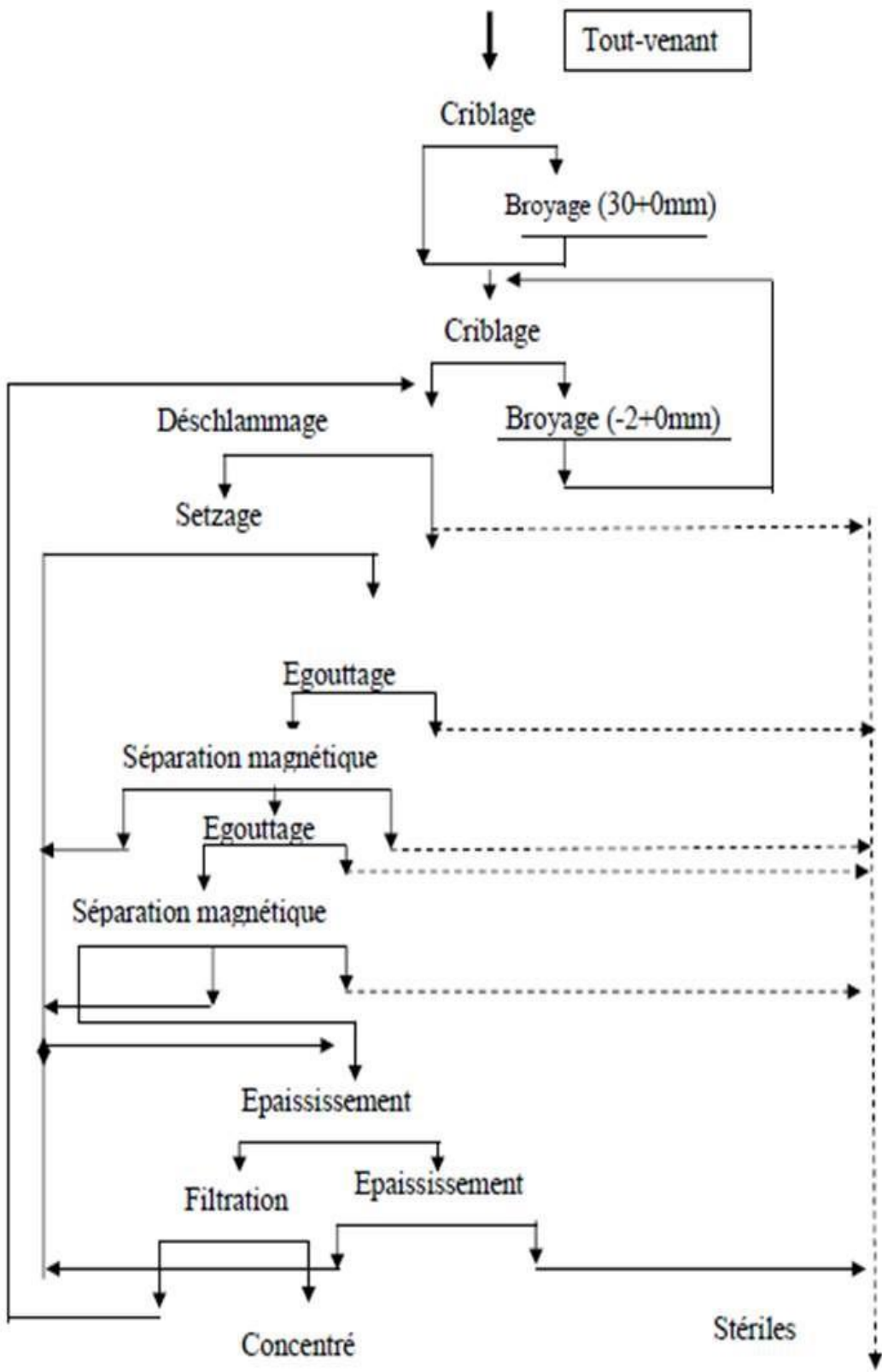


Figure.1: Schéma de traitement des minerais de fer (hématite brune) : RUSSIE

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

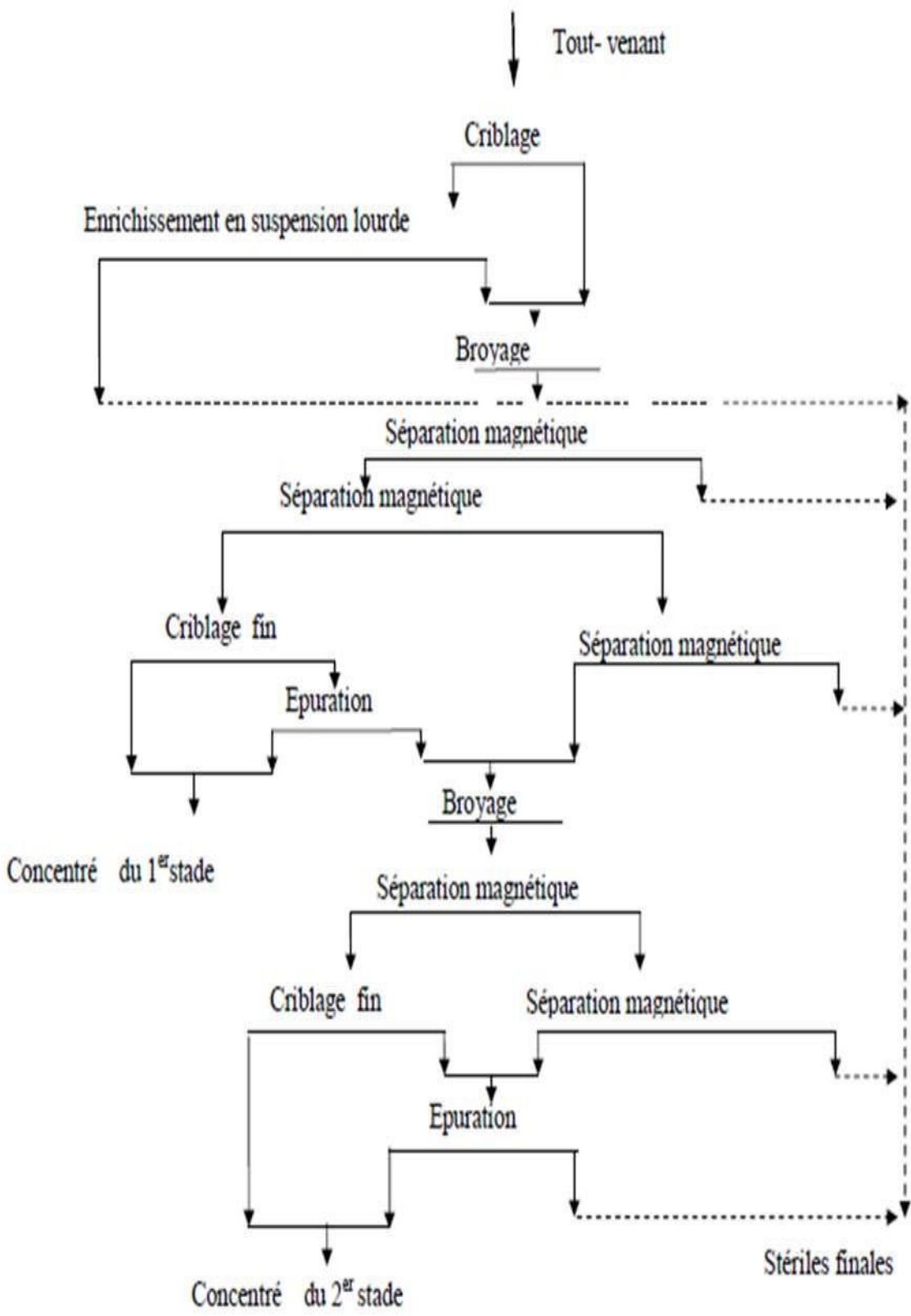


Figure.2:Schéma de traitement des minerais de fer oxydent Russisa

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

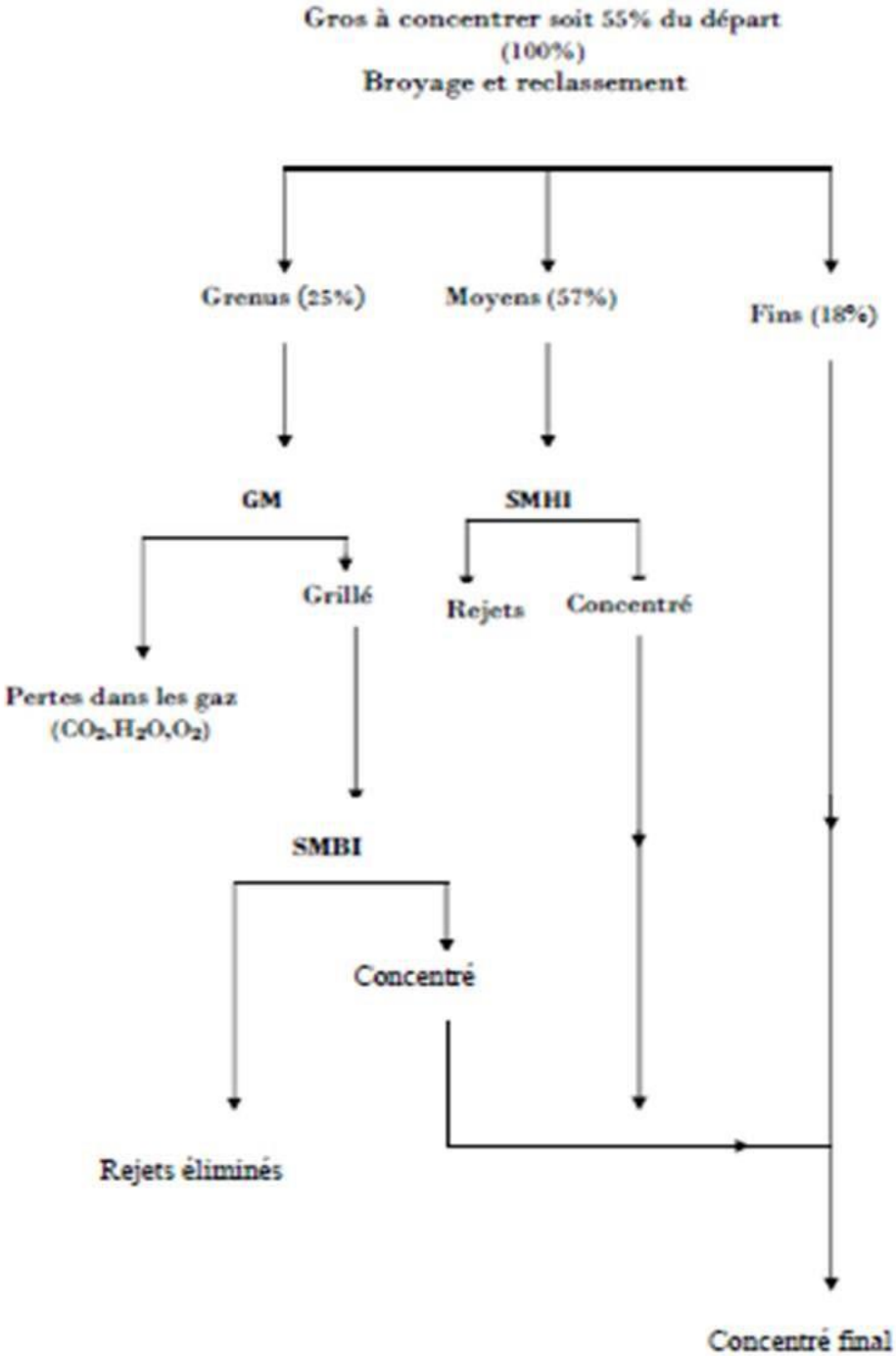


Figure.3: Schéma de traitement des minerais hématiques : France

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

4-Métallurgie de minerai de fer

4-1-grillage

4-1-1-principe du grillage :

Le grillage du minerai permet d'obtenir un oxyde de fer débarrassé des impuretés - soufre, phosphore et eau - qu'on trouve généralement. Voici une réaction qui se produit pendant le grillage :

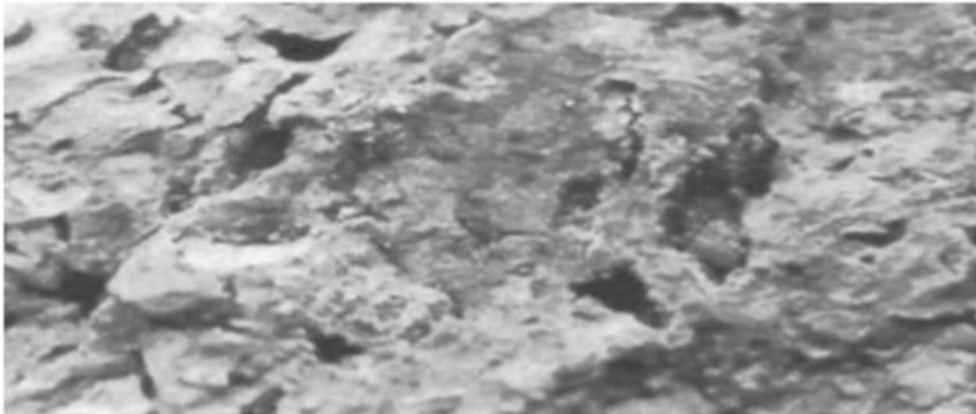
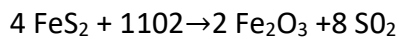
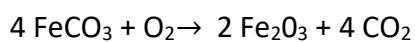


Figure 4: Minerai brut 3 Goethite

On voit très bien la modification du minerai pendant le grillage, ces 2 photos étant prises sur les mêmes cailloux. A la place du grillage et pour certains minerais on fait une calcination dont voici la réaction :



CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

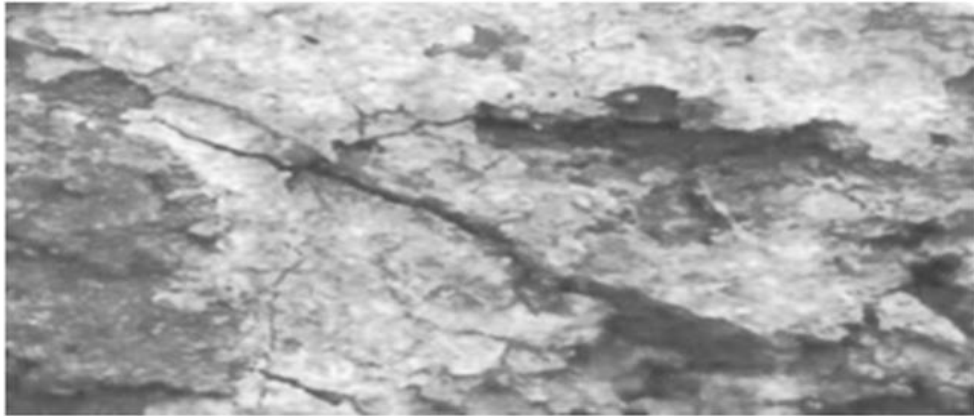
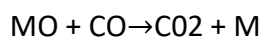


Figure .5: Minerai grillé.

Il faut ensuite réduire l'oxyde pour obtenir du fer métallique selon la réaction générale en métallurgie :



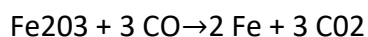
Ou :

MO: est l'oxyde métallique.

CO : le monoxyde de carbone qui sert de réducteur.

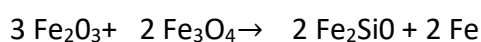
M : le métal réduit donc sous forme métallique utilisable.

Soit pour le fer :



Cette réaction se produit vers 1200° C.

D'autre part dans la colonne de chauffe se produit une oxydation de l'hématite qui donne de la magnétite la quelle sera transformée en scorie et fer métallique selon les proportions suivantes



Donc après le grillage et concassage on peut enrichir le minerai en le triant avec un aimant.

[4]

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

5-L'influence des éléments nuisibles composante le minerai de fer sur la fabrication d'acier

Le minerai de fer est une combinaison des roches contenant le fer en quantité importante et économiquement peuvent être traités en procédé métallurgique. Le fer et ses alliages sont obtenus par des opérations métallurgiques, qui ont pour but d'extraire le métal (fer) à partir de son minerai. Ces opérations se déroulent dans des fours ou convertisseurs.

L'élaboration du métal comporte deux phases essentielles :

L'extraction du métal à partir du minerai on obtient un produit brut appelé Fonte.

L'Affinage du produit brut (Fonte) afin d'obtenir un second produit prêt à l'utilisation.

La teneur en fer dans les minerais contient jusqu'à 70% de fer. Ainsi que Certains éléments additifs du minerai de fer sont indésirables et d'autres sont utiles. Les éléments nuisibles sont le soufre, phosphore, arsenic, plomb, zinc, cuivre, le reste tels que Mn, Cr, Ni, Al, Na, MO sont utiles, tout d'abord, d'après leurs caractéristique de transformation et leurs pourcentages.

Le problème des éléments nuisibles dans les aciers, qui actuellement jouit d'un regain d'actualité, lorsque ce dernier pouvait avoir une certaine trouble sur la qualité, et certaine fatigué sur les propriétés mécaniques des aciers. Parfois, cela peut conduire à un arrêt de la production, tant que les éléments sont de fortes proportions et constituent un obstacle. Les chercheurs, s'employèrent alors à modifier les processus d'élaboration de minerai de fer, afin de réduire les pourcentages en éléments nuisibles dans l'acier produit[5]

5-1-approche sur les éléments nuisibles et ces effets

Les éléments nuisibles influencent la qualité de l'acier de deux manières différentes.

Premièrement, ils peuvent influencer les conditions de traitement de l'acier, du traitement à la coulée jusqu'au recuit final, affectant ainsi indirectement la qualité de l'acier.

Deuxièmement, en tant que constituants de l'acier, ils peuvent influencer directement les propriétés mécaniques des produits en acier. Donc, tous les éléments nuisibles contribuent à une augmentation de la résistance associée à une perte de ductilité et à une diminution des

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

propriétés de dessin. Ces effets sont plus prononcés pour les aciers propres à faible teneur en carbone que pour les nuances d'acier à moyenne et haute teneur en carbone.

De nombreux éléments nuisibles dissous dans les métaux fondus, par exemple Cu, Sn, Sb et Pb, ne sont pas oxydés en présence de fer en raison de leur faible affinité pour l'oxygène. Cela signifie que ces éléments ne peuvent pas être éliminés d'une fonte d'acier par un procédé pyrométallurgique courant, comme c'est le cas avec Si, Mn et Al, qui sont oxydés et dissous dans le laitier.

ELEMENTS ALLIE	RATIO (%)	OBSERVATIONS
Carbone	0,2 ÷ 0,7	---
Silicium	0,1 ÷ 0,7 (2 ÷ 4 aciers spéciaux)	Ressorts tôles de transfo
Magnésium	0,3 ÷ 0,8 (12 ÷ 14 aciers très durs)	voies ferrées
S, P, Cu, Ni, Cr, V et Molybdène	< 0,1	---

Tableau1: Proportion de quelques éléments alliés

Les éléments nuisibles sont plus susceptibles de provoquer une fragilisation dans les aciers alliés que dans les aciers au carbone simple. D'après ces éléments on peut citer par exemple :

Le cuivre :

Le cuivre est l'élément clé lié aux défauts de surface de l'acier provoqués par une perte de ductilité dans la plage de température 1050-1200 ° C. Des défauts de surface peuvent apparaître le long de toute la ligne de traitement à chaud, lors de la coulée ou lors du laminage à chaud. La brièveté à chaud est due à l'entartrage de la surface et à la faible solubilité du Cu dans l'austénite, entraînant la formation d'une phase liquide riche en cuivre sous le tartre. Cette phase pénètre le long des joints de grains et entraîne une perte de ductilité dans la plage de température critique due à une fracture intergranulaire. Les éléments d'alliage en acier modifient l'effet négatif du Cu. Certains d'entre eux amplifient tandis que d'autres neutralisent l'effet négatif du cuivre. Par exemple, Sb, Sn et As lorsqu'ils

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

sont présents dans l'acier augmentent, chacun d'eux dans une mesure différente, l'effet négatif du cuivre, tandis que la présence de Ni le réduit.

Les éléments Sn, Sb, As et Bi :

Les éléments nuisibles Sn, Sb, As et Bi ont tendance à se séparer au niveau des surfaces, des joints de grains ou d'autres interfaces. La ségrégation se produit pendant le refroidissement et le bobinage dans le laminoir à bandes à chaud ou pendant le recuit final après le laminage à froid. La ségrégation réduit la cohésion des grains et rend la fracture plus probable, provoquant ainsi une fragilisation. Un exemple de l'effet négatif du Sn sur la ténacité des aciers à faible teneur en carbone est assez important. On peut dire que les aciers contenant de l'étain deviennent cassants dans la plage de température 330 ° C - 0 ° C, tandis que les aciers sans étain conservent leur ténacité à des températures beaucoup plus basses.

Dans le domaine des tôles laminées à froid et recuites, la majeure partie du mix produit est constituée d'aciers bas carbone ou ULC. Les propriétés de ces aciers sont améliorées pour des applications très exigeantes. Par conséquent, ces nuances d'acier sont très sensibles aux éléments nuisibles. Il a été démontré que Sn, Cu, Ni et Cr augmentent la résistance à la traction des nuances d'acier ULC-Ti et diminuent leur ductilité exprimée en termes d'allongement. Les propriétés du dessin dépendent également du contenu de ces éléments dans l'acier. Sn, As, Cu, Ni, Cr et Mo ont des effets néfastes sur l'étirage et, dans une certaine mesure, la ductilité des nuances ULCIF et ELC.

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

ELEMENT					
QUALITE	C(%)	Mn(%)	P(%)	Si(%)	S(%)
EXTRA-DOUX	0.15	0.4	0.04	0.03	0.02
DOUX	0.25	0.4	0.05	0.06	0.03
MI-DOUX	0.35	0.4	0.06	0.15	0.03
MI-DUR	0.45	0.5	0.06	0.20	0.03
DUR	0.55	0.6	0.06	0.25	0.03
EXTRA-DUR	0.65	0.7	0.06	0.3	0.03

Tableau2:Conditions et pourcentages des éléments dans différentes qualités d'aciers.

Afin d'éliminer les éléments nuisibles, les produits cherchés peuvent être prétraités à des températures plus basses tout en restant à l'état solide. Le prétraitement des fontes à l'état solide présente souvent l'avantage que les éléments nuisibles sont présents à l'état pur, soit mêlés à la partie ferreuse de la fonte, soit existant à la surface des produits, ce qui devrait faciliter leur élimination. [5]

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

Conclusion

En règle générale, après l'extraction du minerai, une préparation mécanique (concassage et broyage) est nécessaire pour sa réduction granulométrique jusqu'à atteindre la maille de libération. Cette opération est suivie par criblage destiné à obtenir des granulométries nécessaires aux procédés de traitement.

Le choix des méthodes de traitement du minerai dépend de plusieurs facteurs tels que ; type du minerai, sa composition chimique, minéralogique, sa finesse etc. Les méthodes les plus couramment utilisées sont la séparation gravimétrique (milieu dense, spirales, table à secousses etc.), la séparation magnétique à haute intensité, à basse intensité et haut gradient, la réduction directe, la flottation, la séparation électrostatique, le traitement chimique et la bio-minéralisation.

Parfois, une seule méthode n'est pas suffisante pour obtenir un concentré de haute qualité à cause de la diversification de la composition du minerai, donc il est nécessaire un traitement combiné de deux et plus procédés d'enrichissement.

CHAPITRE 4

étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l`Ouenza

Introduction

Dans cette partie, nous présentons un schéma qualitatif et quantitatif appliqué au traitement du minerai de fer à travers les opérations de préparation mécanique et de séparation magnétique. L'étude qualitative permet d'illustrer les différentes étapes du procédé, depuis le concassage et le broyage jusqu'à la concentration magnétique, afin de mieux comprendre la circulation du minerai et des produits obtenus.

L'étude quantitative consiste à effectuer les bilans de matière et les calculs des débits, des rendements et des teneurs en fer pour chaque produit issu du traitement. Ces calculs permettent d'évaluer l'efficacité du schéma proposé et de déterminer les meilleures conditions d'enrichissement du minerai.

La préparation mécanique joue un rôle essentiel dans la libération des particules utiles grâce aux opérations de concassage, de broyage et de tamisage, tandis que la séparation magnétique assure la récupération des minéraux riches en fer et l'élimination des gangues. L'objectif principal de cette étude est d'obtenir un concentré de fer à teneur élevée avec un rendement satisfaisant, tout en optimisant les performances du procédé de traitement.

A- Schémas Proposé Quantitative de minerai de fer de l'Ouenza

1-Calcul du SchémasProposé de préparation mécanique

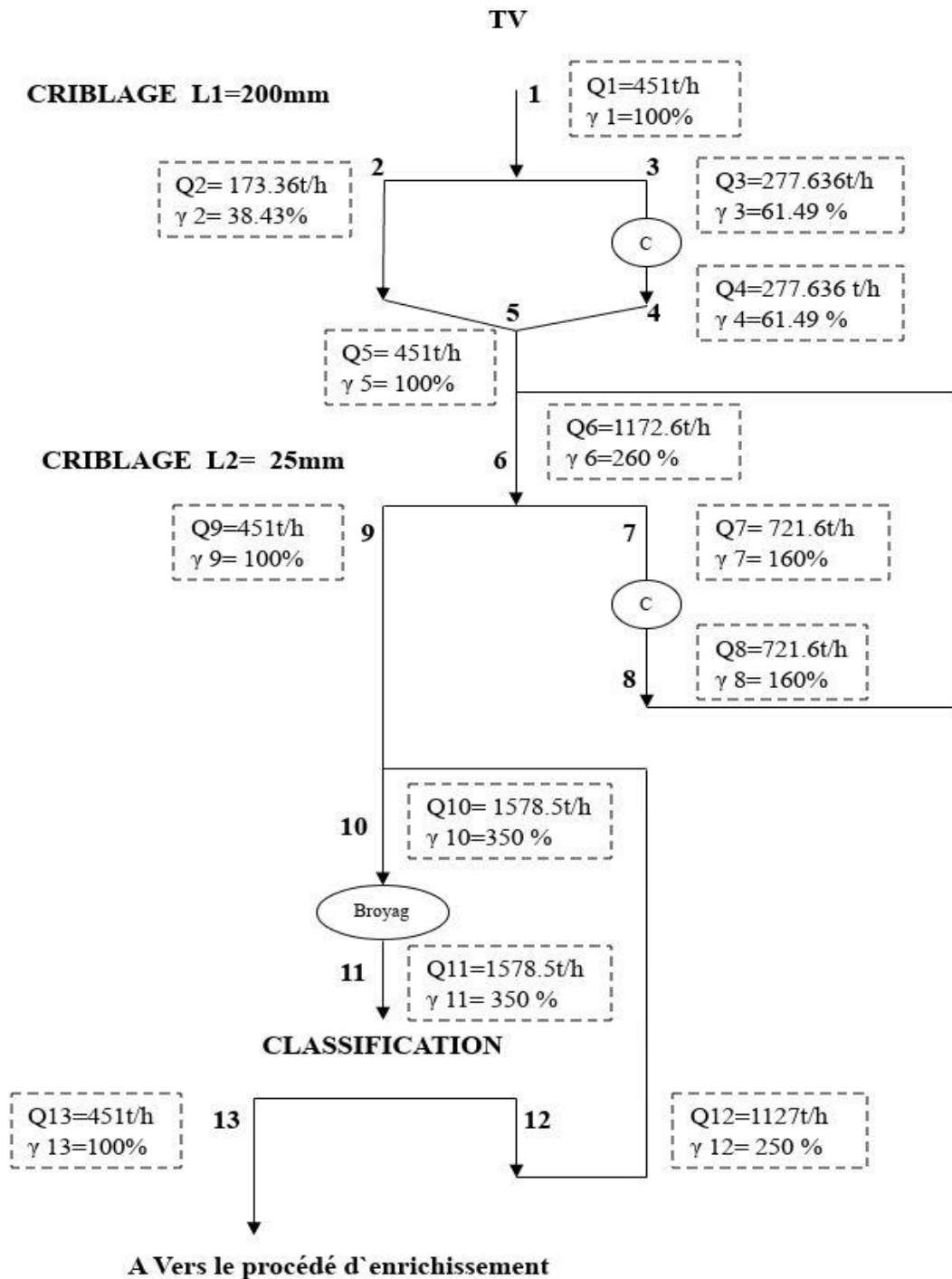


Figure 5:Schéma de préparation mécanique

2-Calcul du schémas de concassage et de broyage et choix des équipements

2-1-données de départ

- Dimension maximale des morceaux : $D_{max} = d_1 = 600\text{mm}$
- On a: $Q=33\ 800\ 000\ \text{t}$ pendant 26ans
- Dureté : 4-6,5
- $\alpha = 35\ \%$
- Production annuelle $Q_{an} = 1300\ 000\ \text{t /ans}$
- Densité de minerai = $2,7\ \text{g/cm}^3$
- Densité foisonnée = $1,54\ \text{t/m}^3$
- Coefficient de foisonnement = 1,75

On élabore un schéma de concassage en deux stades et un stade de broyage.

2-2- Elaboration du schéma de préparation mécanique

- On détermine la production théorique d'un atelier de concassage

$$Q_1 = \frac{Q \times N_{br}}{N_c \times N_p \times N_h} \text{ t/h}$$

$N_{br} = 5j$: nombre des jours du travail d'un atelier de broyage par semaine.

$N_c = 5j$: nombre des jours du travail d'un atelier de concassage par semaine.

$N_p = 2$ poste: nombre des postes d'un atelier de concassage par 24 heures.

$N_h = 6\text{h/poste}$: nombre des heures de travail d'un atelier de concassage par poste.

$N_j = 240$ jours

$$Q = \frac{Q_{an}}{N_j} = \frac{1\ 300\ 000}{240} = 5416\text{t/j}$$

$$\text{Alors : } Q_1 = \frac{Q \times N_{br}}{N_c \times N_p \times N_h} = \frac{5416 \times 5}{5 \times 2 \times 6} = 451\ \text{t/h}$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

- Traçage de la caractéristique du produit N°1 (TV) :

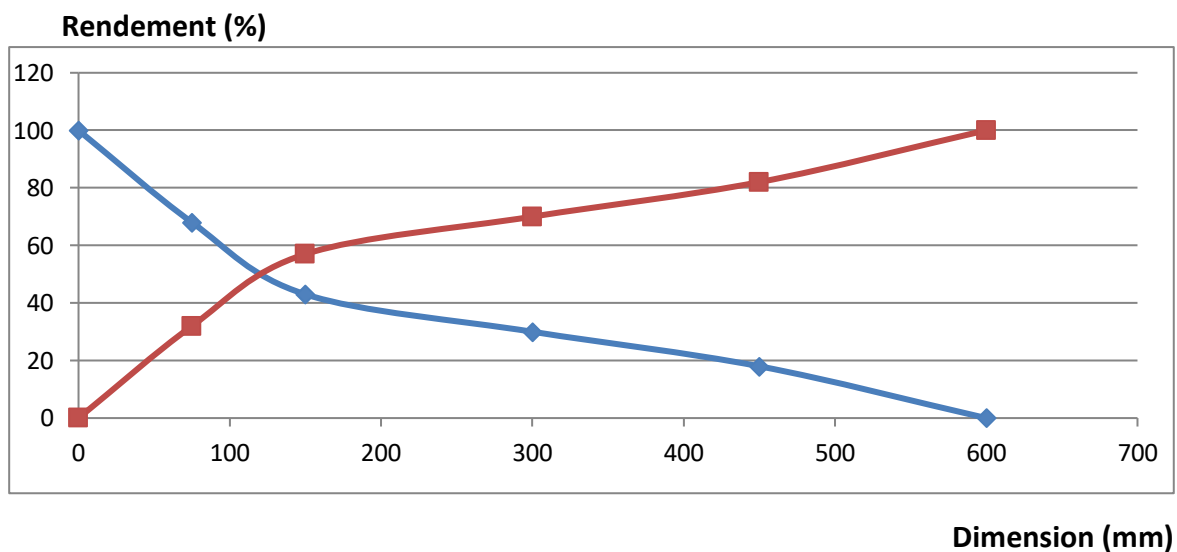
Avec $D_{max} = 600\text{mm}$

TRANCHE granulométrique en fonction de D_{max}	TRANCHE granulométrique en (mm)	Rendement Par classe %	Rendement Cumule refus ($\sum Y_{\leftarrow}$)%	Rendement Cumule passant ($\sum Y_{\rightarrow}$)%
- $D_{max} + 3/4D_{max}$	-600 +450	18	18	100
- $3/4D_{max} + 1/2D_{max}$	-450 +300	12	30	82
- $1/2D_{max} + 1/4D_{max}$	-300 +150	13	43	70
- $1/4D_{max} + 1/8D_{max}$	-150 +75	25	68	57
- $1/8D_{max} + 0$	-75 +0	32	100	32
TOTAL		100		

Tableau 1 : analyse de tamisage du TV

 Cumule passant

 Cumule refus



CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

Figure 6 : caractéristique granulométrique du produit brut(1).

- Fixation des degrés de concassage pour chaque étage :
- On calcule le degré de réduction général

$$i_g = \frac{D_{max}}{d_{max}} = \frac{D_{max}}{d_{11}} = \frac{600}{25} = 24 = i_1 \times i_2$$

D_{max} : grosseur maximale des morceaux avant concassage. d_{max} :
grosseur maximal après concassage du 2^{ème} étage.

On fixe les degrés de concassage dans le 1^{er}, étage de concassage.

$i_1 = 3$ à 5 on prend $i_1 = 3$

Degré de concassage dans le 2^{ème} étage de concassage

$i_2 = 4$ à 10 on fixe $i_2 = 8$

$$i_g = i_1 \times i_2 \Rightarrow i_2 = \frac{i_g}{i_1} = \frac{24}{3} = 8$$

- Détermination des dimensions des morceaux maximums :

$$d_5 = d_1 / i_1 = 600 / 3 = 200 \text{ mm}$$

$$d_9 = \frac{d_1}{(i_1 \times i_2)} = \frac{600}{(3 \times 8)} = 25 \text{ mm}$$

- Détermination des dimensions des fentes de déchargement des concasseurs

Catégories de la dureté du minerai	Concasseur grossier	Concasseur à cône
	A mâchoires (Z_1)	CCI (Z_2)
Minerai dur	1,7	3

Tableau 2 : grosseur relative du produit concassé

Les dimensions des fentes de déchargement des concasseurs Pour minerai dur :

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

$Z_1 = 1,7$ pour les concasseurs à mâchoires

$Z_2 = 3$ pour les concasseurs à cônes à concassages intermédiaire

Donc :

$$S_1 = d_5 / Z_1 = 200 / 1,7 = 117,64 \text{ mm}$$

$$S_2 = d_9 / Z_2 = 25 / 3 = 8,33 \text{ mm}$$

- **Détermination des dimensions des ouvertures de chargement des concasseurs :**

$$B_1 = (1,1 \div 1,2) \times d_1 = 1,1 \times 600 = 660 \text{ mm}$$

$$B_2 = (1,1 \div 1,2) \times d_5 = 1,1 \times 200 = 220 \text{ mm}$$

- **Fixation des dimensions des ouvertures des cribles :**

$$d_5 \geq L_1 \geq S_1$$

$$d_9 \geq L_2 \geq S_2$$

On prend souvent dans les calculs préalables :

$$L_1 = d_5 = 200 \text{ mm}$$

$$L_2 = d_9 = 25 \text{ mm}$$

- **Fixation d'efficacité des opérations de criblage :**

On fixe l'efficacité des opérations de criblage

Pour le criblage préalable : $E_1 = (60 \div 70) \%$ fixe $E_1 = 65 \%$

(Cribles à barreaux fixes)

E : efficacité

Pour le deuxième étage de criblage : $E_2 = 85 \%$

- **Détermination des poids des produits pour le premier étage de concassage :**

D'après les formules suivantes :

$$Q_2 = Q_1 \times B_1^{-1} \times E_1$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

On détermine la valeur de B_1^{-L1} d'après la caractéristique granulométrique du produit N° 1,

Donc :

$$B_1^{-L1} = B_1^{-200} = 62 \%$$

$$Q_2 = Q_1 \times B_1^{-L1} \times E_1 = 451 \times 0.62 \times 0.65 = 173,364 \text{ t/h}$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 451 - 173,364 = 277,636 \text{ t/h}$$

$$Q_4 = Q_3 = 277,636 \text{ t/h}$$

$$Q_5 = Q_1 = 451 \text{ t/h}$$

Pour la charge circulante γ_9 d'un minerai dur $\gamma_9 = (130 \div 160) \%$ on prend

$$\gamma_9 = 160 \% \text{ donc : } Q_9 = Q_1 \times \gamma_9$$

$$Q_8 = 1,6 \times (451) = 721,6 \text{ t/h}$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_9 = 451 + 721,6 = 1172,6 \text{ t/h}$$

$$Q_7 = Q_8 = 721,6 \text{ t/h}$$

$$Q_9 = Q_6 - Q_7 = 1172,6 - 721,6 = 451 \text{ t/h} = Q_1$$

- **Caractéristiques des concasseurs d'après les calculs :**

Sont représentés dans le tableau suivant :

Caractéristique de Concasseur	Dimension de l'ouverture de chargement (mm)	Dimension de la fente de déchargement (mm)	Capacité de production (t/h)
Premier étage	$B_1 = 660 \text{ mm}$	$S_1 = 117,64 \text{ mm}$	$Q_3 = 277,636 \text{ t/h}$
Deuxième étage	$B_2 = 220 \text{ mm}$	$S_2 = 8,33 \text{ mm}$	$Q_7 = 721,6 \text{ t/h}$

Tableau 3 : Caractéristiques des concasseurs d'après les calculs.

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

Type et dimensions	N ^{br} et coef d'exploitati		Débit ; t/h		Puissance Kw/h	
	Nbr	Ke	L'un	Total	L'un	Total
CMD 6x9	1	0,615	170,746	170,746	75	75
CCCI 1200A	2	1,6	1154,56	2306,12	75	150

Tableau 4 : Paramètre de concasseur à mâchoires à double effet CMD 6 x 9 et concasseur à cône à concassage intermédiaire CCCI.

1) pour CMD $Ke_1 = \frac{Q_3}{nQ_1} = \frac{277,636}{451} = 0,615$

2) pour CCCI $Ke_2 = \frac{Q_7}{nQ_1} = \frac{721,6}{451} = 1,6$

2-3-calcul final du schéma de concassage et choix des équipements :

On fixe les fentes de sortie d'après le calcul préalable :

$S_1 = 117,64$ mm, $S_2 = 8,33$ mm.

- **Détermination des dimensions maximums des morceaux de minerai après le concassage dans chaque étage :**

$d_4 = S_1 \times Z_1 = 117,64 \times 1.7 = 199,988$ mm

$d_9 = d_{\max} = 25$ mm

- **Les degrés de concassage de chaque étage**

$i_1 = D_{\max} / d_5 = 600 / 200 = 3$

$i_2 = d_5 / d_9 = 200 / 25 = 8$

- **Fixation des dimensions des ouvertures des cribles et les efficacités de criblage dans chaque opération**

$d_5 \geq L_1 \geq S_1$; $200 \geq 200 \geq 117,64$; $L_1 = 200$ mm

$d_9 \geq L_2 \geq S_2$; $25 \geq 25 \geq 8,33$; $L_2 = 25$ mm

Avec :

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

E1 = 65 % efficacité de criblage dans le premier étage E2 = 85 % efficacité de criblage dans le deuxième étage .

On détermine les poids des produits 2 et 3 et leurs rendements :

$$Q2=Q1.B_1^{-1}. E1$$

$$E1=0,65$$

$$B_1^{-1}=B_1^{-200}=0,62$$

Donc : $Q2 = 451 \times 0,62 \times 0,65 = 173,364 \text{t/h}$

$$Q3 = Q1 - Q2 = 451 - 173,364 = 277,364 \text{t/h}$$

- **On calcule les rendements :**

$$\gamma_2=Q2/Q1 \times 100=(173,364/451) \times 100=38,43\%$$

$$\gamma_3=Q3/Q1 \times 100=(277,364/451) \times 100=61,49\%$$

- **Calcule de la composition granulométrique du produit N°5**

La composition granulométrique du produit 5 est calculée comme mélange des produits 2 et 4 d'après la relation suivante :

$$B_5^{-d} = \frac{Q2(B2^{-d}) + Q4(B4^{-d})}{Q1}$$



Le tableau suivant présente la caractéristique de grosseur du produit N°4

avec $S_1 = 117,64 \text{ mm}$

Granulométrie en fonction de S_1	Granulométrie en (mm)	Rendement des classes (%)	Rendement cumulé refus ($\Sigma Y \leq$) (%)	Rendement cumulé passant ($\Sigma Y \geq$) (%)
+2 S_1	+235.28	0	0	100
-2 S_1 +1.75 S_1	-235,28 +205.87	0	0	100
-1.75 S_1 +1. 5 S_1	-205.87 +176.46	2	2	100
-1.5 S_1 + S_1	-176.46 +117.64	15	17	98
- S_1 +0.75 S_1	-117.64 +88.23	13	30	83
-0.75 S_1 +0.5 S_1	-88.23 +58.82	20	50	70
-0.5 S_1 +0.25 S_1	-58.82+29.41	25	75	50
-0.25 S_1 +0	-29.41 +0	25	100	25
TOTAL		100		

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

Tableau 5 : Caractéristique granulométrique du produit N°4

 Cumule passant
 Cumule refus
Rendement (%)

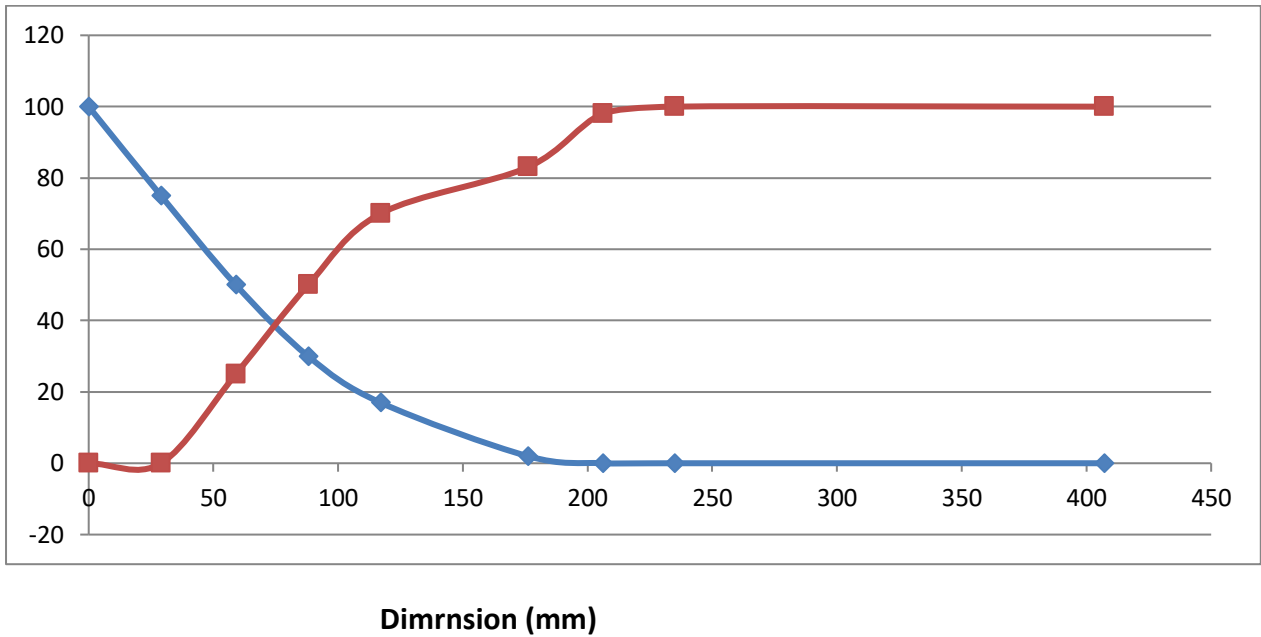


Figure 7: caractéristique granulométrique du produit N°4

- **Traçage de la caractéristique granulométrique du produit N°5**

D'après la formule suivante :

$$B_5^{-d} = B_1^{-d} \times E_1^{-L1} + (1 - B_1^{-L1} \times E_1^{-L1}) \times B_4^{-d}$$

$$E_1 = E_1^{-L1} = 0.65$$

$$B_1^{-L1} = 62\% = 0.62$$

On calcul les teneurs B_1 et B_4

D'après le graphe 1 d'après le graphe 4

$$B_1^{-200} = 100 - 38 = 62\%$$

$$B_1^{-150} = 100 - 46 = 54\%$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

$$B_1^{-100} = 100 - 60 = 40\%$$

$$B_1^{-50} = 100 - 80 = 20\%$$

$$B_1^{-25} = 100 - 94 = 6\%$$

$$B_4^{-200} = 100 - 0 = 100\%$$

$$B_4^{-150} = 100 - 9 = 91\%$$

$$B_4^{-100} = 100 - 25 = 75\%$$

$$B_4^{-50} = 100 - 59 = 41\%$$

$$B_4^{-25} = 100 - 80 = 20\%$$

On calcule le teneur du produit N°5 :

Donc : $\beta_5^{-d} = \beta_1^{-d} \times E_1^{-L1} + (1 - \beta_1^{-L1} \times E_1^{-L1}) \times \beta_4^{-d}$; Alors :

- $\beta_5^{-200} = 0.62 \times 0.65 + (1 - 0.62 \times 0.65) \times 1.00$
 $\beta_5^{-200} = 1 = 100\%$
- $\beta_5^{-150} = 0.54 \times 0.65 + (1 - 0.62 \times 0.65) \times 0.91$
 $\beta_5^{-150} = 0.89 = 89\%$
- $\beta_5^{-100} = 0.40 \times 0.65 + (1 - 0.62 \times 0.65) \times 0.75$
 $\beta_5^{-100} = 0.70 = 70\%$
- $\beta_5^{-50} = 0.20 \times 0.65 + (1 - 0.62 \times 0.65) \times 0.41$
 $\beta_5^{-50} = 0.37 = 37\%$
- $\beta_5^{-25} = 0.06 \times 0.65 + (1 - 0.62 \times 0.65) \times 0.20$
 $\beta_5^{-25} = 0.15 = 15\%$

Granulométrie en (mm)		Rendement des classes (%)	Rendement cumuliè refus ($\Sigma Y \llcorner$) (%)	Rendement cumuliè passant ($\Sigma Y \lrcorner$) (%)
-200	+150	11	11	100
-150	+100	19	30	89
-100	+50	33	63	70
-50	+25	22	85	37


CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

-25	+0	15	100	15
TOTAL		100		

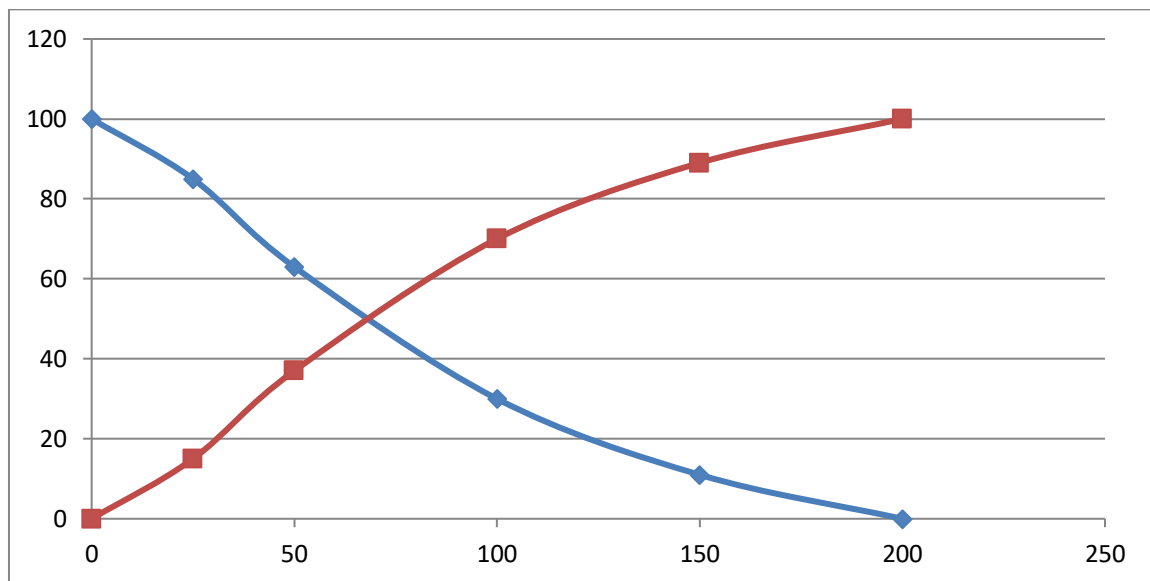
Tableau 6 : Caractéristique de grosseur du produit 5.

A l'aide de ces valeurs on trace la caractéristiques granulométriques de produit N°5

 Cumule passant

 Cumule refus

Rendement (%)



Dimension (mm)

Figure 8: caractéristique granulométrique du produit N°5.

On détermine les poids des produits 6, 7, 8 et 9 et leurs rendements :

$$Q_9 = Q_5 = Q_1 \rightarrow Q_9 = 451 \text{ t/h}$$

$$Q_8 = Q_7 \rightarrow Q_8 = 721,6 \text{ t/h}$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_8 = 451 + 721,6 = 1172,6 \text{ t/h} \rightarrow Q_6 = 1172,6 \text{ t/h}$$

$$\gamma_6 = Q_6 / Q_1 \times 100 = 1172,6 / 451 \times 100 = 260\%$$

$$\gamma_9 = Q_9 / Q_1 \times 100 = 451 / 451 \times 100 = 100\%$$

$$\gamma_7 = Q_7 / Q_1 \times 100 = 721,6 / 451 \times 100 = 160\%$$

2-4- choix final de concasseur du premier etage :

On choisit finalement le concasseur du premier étage. Pour ce choix, il faut déterminer les facteurs suivants :

- Qualité de la matière à concasser
- Dimensions maximales des morceaux

$$B_1=660 \text{ mm} \quad D_{\max}= 600 \text{ mm}$$

$$S_1= 117,64 \text{ mm} \quad Q_3=277,636 \text{ t/h}$$

D'après ces données, on installe au premier étage de concassage un concasseur à mâchoires à doubles effet CMD 6X9

- Détermination du débit de concasseur d'après le TV

$$Q_c = Q_s \times \bar{\rho} \text{ Tel que } (\bar{\rho}: \text{densité foisonnée})$$

$$Q_s = Q_{\max} - (Q_{\max} - Q_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min}) \times (S_{\max} - S)$$

$$\bar{\rho} = \rho \times K_f$$

$$Q_s = Q_{\max} - [((Q_{\max} - Q_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min})) \times (S_{\max} - S)]$$

ρ : densité de minerai ($d = 2.7 \text{ t/m}^3$)

K_f : coefficient de foisonnement (1.75 t/m^3)

Q_s : Capacité nominale à l'ouverture nominale de l'ouverture (au concassage du matériau de la dureté moyenne) m^3/h

$$\bar{\rho} = \rho \times K_f = 2.7 \times 1.75 = 4.72 \text{ t/m}^3$$

$$Q_s = 55 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_c = Q_s \times \bar{\rho} = 55 \times 4.72 = 259,6 \text{ t/h}$$

On calcule le nombre de concasseurs nécessaires pour le premier étage .

Selon la relation suivante :

$$N = Q_3 / Q_c ; N = 277.63 / 259.6 = 1.06 \approx 1$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

Donc on installe Deux concasseurs pour le premier étage du type (CMD6×9)

Pour le deuxième étage

$$B_2 = 220 \text{ mm} \quad Q_8 = 721,6 \text{ t/h}$$

$$S_2 = 8,33 \text{ mm} \quad L_2 = 25 \text{ mm}$$

On choisit pour le deuxième étage un concasseur à cône à concassage intermédiaire (CCCI 2800A)

On détermine le débit du concasseur :

$$S_{\max} = 60 \text{ mm}; Q_{\max} = 580 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$S_{\min} = 30 \text{ mm}; Q_{\min} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_s = Q_{\max} - (Q_{\max} - Q_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min}) \times (S_{\max} - S)$$

$$Q_s = 580 - (580 - 300) / (60 - 30) \times (60 - 8,33)$$

$$Q_s = 97,74 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_c = Q_s \times 6 = 97,74 \times 4,72 = 461,33 \text{ t/h}$$

le nombre de concasseurs nécessaires au deuxième étage est :

$$N = Q_8 / Q_c = 721,6 / 461,33 = 1,56 \approx 2$$

$$N = 2$$

On trace la caractéristique de grosseur du produit 7 (produit concassé du 2^{ème} stade de Concassage) $S_2 = 8,33 \text{ mm}$.

Granulométrie en fonction de S_2	Granulométrie en (mm)	Rendement des classes (%)	Rendement cumulé refus ($\Sigma Y \searrow$) (%)	Rendement cumulé passant ($\Sigma Y \nearrow$) (%)
+2.5 S_2	+20.82	3	3	100
-2.5 S_2 +2.25 S_2	-20.82+18.74	5	8	97
-2.25 S_2 +2 S_2	-18.74 +16.66	6	14	92
-2 S_2 +1.5 S_2	-16.66 +12.49	16	30	86
-1.5 S_2 +1.25 S_2	-12.49+10.41	15	45	70
-1.25 S_2 + S_2	-10.41 +8.33	15	60	55

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

- S ₂	+0.5 S ₂	-8.33 +4.16	20	80	40
-0.5 S ₂	+0.25 S ₂	-4.16+2.08	12	92	20
-0.25 S ₂	+0	-2.08 +0	8	100	8
TOTAL			100		

Tableau 7: Caractéristique granulométrique de grosseur de produit N°7

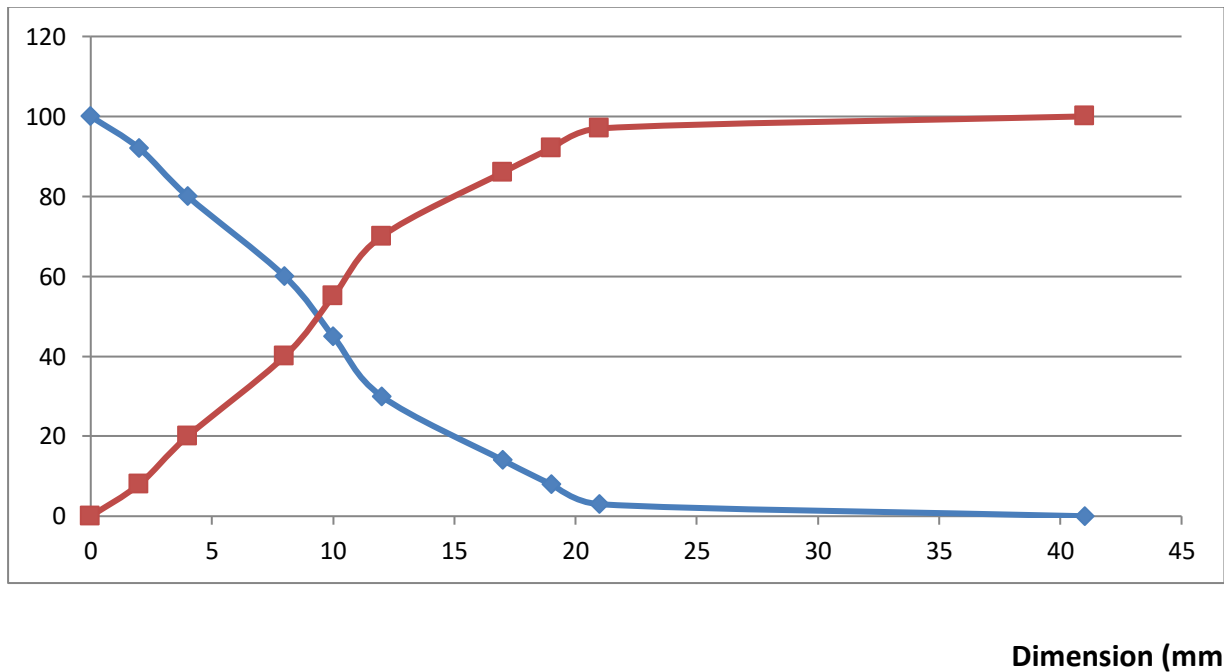
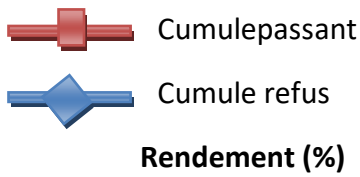


Figure 9: courbe de l'analyse granulométrique de produit N°7

- Traçage de la caractéristique granulométrique du produit N°8 :

D'après la formule suivante on calcule les teneurs B₅ et B₇:

$$B_8^{-d} = B_5^{-d} \times E_2^{-L_2} + (1 - B_5^{-L_2} \times E_2^{-L_2}) \times B_7^{-d}$$

$$E_2 = E_2^{-L_2} = 0.85$$

$$B_5^{-L_2} = 15\% = 0.15$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

D'après les graphes 5 et 7

$$B_5^{-25} = 100 - 85 = 15\%$$

$$B_5^{-20} = 100 - 90 = 10\%$$

$$B_5^{-15} = 100 - 94 = 6\%$$

$$B_5^{-10} = 100 - 95 = 5\%$$

$$B_5^{-5} = 100 - 97 = 3\%$$

$$B_7^{-25} = 100 - 1 = 99\%$$

$$B_7^{-20} = 100 - 5 = 95\%$$

$$B_7^{-15} = 100 - 21 = 79\%$$

$$B_7^{-10} = 100 - 46 = 54\%$$

$$B_7^{-5} = 100 - 78 = 22\%$$

On calcule le teneur du produit N°9 :

Donc : $\beta_8^{-d} = \beta_5^{-d} \times E_2^{-L2} + (1 - \beta_5^{-L2} \times E_2^{-L2}) \times \beta_7^{-d}$; Alors :

- $B_8^{-25} = 0.15 \times 0.85 + (1 - 0.15 \times 0.85) \times 0.99$
 $B_8^{-25} = 0.99 = 100\%$
- $B_8^{-20} = 0.10 \times 0.85 + (1 - 0.15 \times 0.85) \times 0.95$
 $B_8^{-20} = 0.91 = 91\%$
- $B_8^{-15} = 0.06 \times 0.85 + (1 - 0.15 \times 0.85) \times 0.79$
 $B_8^{-15} = 0.74 = 74\%$
- $B_8^{-10} = 0.05 \times 0.85 + (1 - 0.15 \times 0.85) \times 0.54$
 $B_8^{-10} = 0.51 = 51\%$
- $B_8^{-5} = 0.03 \times 0.85 + (1 - 0.15 \times 0.85) \times 0.22$
 $B_8^{-5} = 0.21 = 21\%$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

Granulométrie en (mm)		Rendement des classes (%)	Rendement cumulé refus (ΣY_{\leq}) (%)	Rendement cumulé passant (ΣY_{\geq}) (%)
-25	+20	9	9	100
-20+15		17	26	91
-15	+10	23	49	74
-10	+5	30	79	51
-5 +0		21	100	21
TOTAL		100		

Tableau 8 : Caractéristique granulométrique de produit N°8

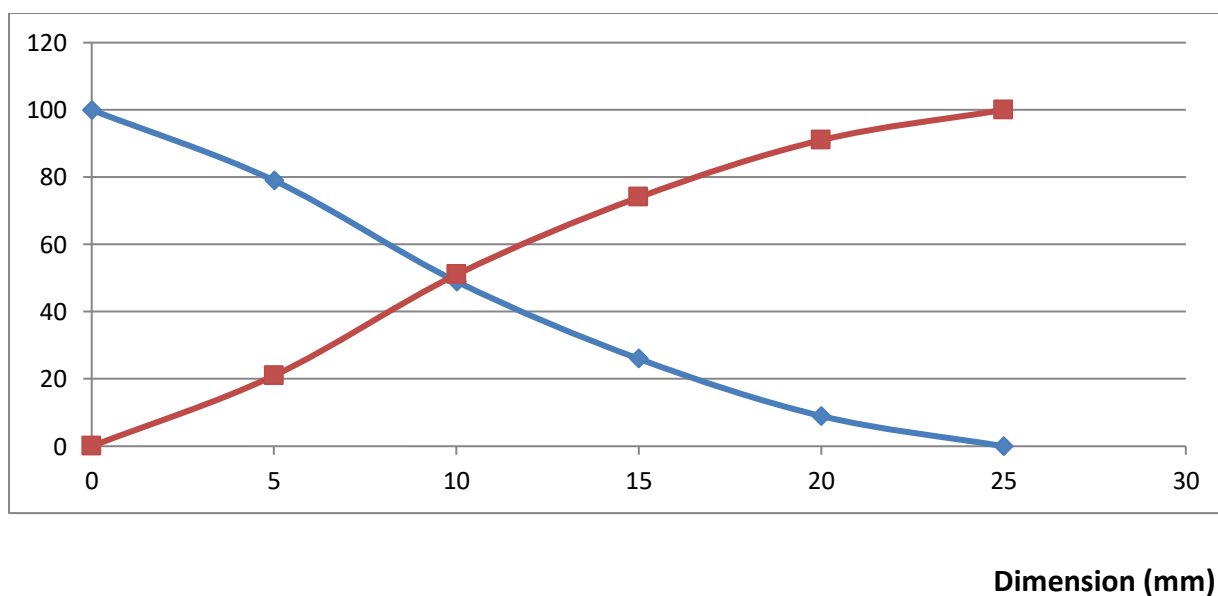
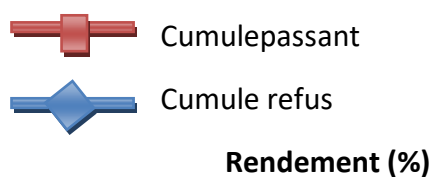


Figure 10: courbe de l'analyse granulométrique de produit N°8

2-5-calcul de l'opération de criblage :

- Détermination de la surface du crible :

1-Pour le premier stade de concassage et avant le concassage grossier, on installe un criblage à barreau dont la surface est calculée par la formule suivante :

- $B = (2d_1 + 100) \div 3d_1$

- $L = 2B$

- $S = B \times L$

On a :

- $B = (2 \times 600 + 100) \div 3 \times 600 = 0.72 \text{ (m)}$

- $L = 2 \times 0.72 = 1.44 \text{ (m)}$

Donc la surface du crible est égale :

- $S = 0.72 \times 1.44 = 1.03 \text{ m}^2$

▪ **La surface de criblage nécessaire aux cribles installés dans le deuxième et le troisième étage :**

$$F = \frac{Q}{q \times \delta \times k \times L \times m \times n \times o \times p} \text{ (m}^2\text{)}$$

Pour le deuxième étage :

$$F = \frac{Q_5}{q \times \delta \times k \times L \times m \times n \times o \times p} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Q = Q_5 = 451 \text{ t/h}$$

▪ q : on a : $L_2 = 25 \text{ mm}$; d'après l'annexe 14 :

$$25 \text{ mm} \rightarrow 31$$

$$\text{Alors : } 25 \rightarrow [(25 \times 31) / 25] = 31$$

$$q = 31$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

$$L_2 = 25\text{mm} \Rightarrow q = 31\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{h}$$

$$\delta = 1.75 \text{ t} / \text{m}^3$$

▪ k : on a : $B_5^{-1/2 L_2} = B_5^{-12.5} = 15\%$; d'après l'annexe 6 :

$$10\% \rightarrow 0,4$$

$$20\% \rightarrow 0,6$$

$$\text{Alors : } 15 \rightarrow [(15 \times 0.4) / 10] = 0.6$$

$$K = 0.6$$

▪ l : on a : $B_5^{+L_2} = B_5^{+25} = 18\%$

$$10\% \rightarrow 0.94$$

$$20\% \rightarrow 0.96$$

$$\text{Alors : } 18 \rightarrow [(18 \times 0.96) / 10] = 0.95$$

▪ m : on a : $E_2 = 85\%$; d'après l'annexe 6 :

$$80\% \rightarrow 1,3$$

$$90\% \rightarrow 1$$

$$\text{Alors : } 85\% \rightarrow [(5/10) \times 0,3] + 1 = 1,15$$

▪ n : le matériau concassé est sauf charbon = 1

▪ o : l'ouverture du tamis plus que 25 mm = 1

▪ p : l'ouverture du tamis plus que 25 mm = 1

Donc la surface de crible est égale :

$$F = \frac{451}{31 \times 1.75 \times 0.6 \times 0.95 \times 1.15 \times 1 \times 1 \times 1}$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

$F = 12.68 \text{ m}^2$

On détermine le nombre des cribles :

$F=12,68$

$S=1,03$

$n= 12,68 / 1,03= 12,31 \approx 12$

Il faut prendre 4 cribles CIL 42

Type	Nombre	Surface (m ²)		Coefficient D'exploitation	Masse (t)		Puissance (KW)	
		L'un	Tous		L'un	Tous	L'un	Tous
		CIL 42	4		4,5	18	$\frac{12,68}{4.5}$ =2,81	4,662

Tableau 9 : Les Caractéristiques technique des cribles choisis.

2-6-Calcul du schéma de l'atelier du broyage et choix des équipements :

Il faut installer une trémie de stockage pour le minerai alimenter les broyeurs.

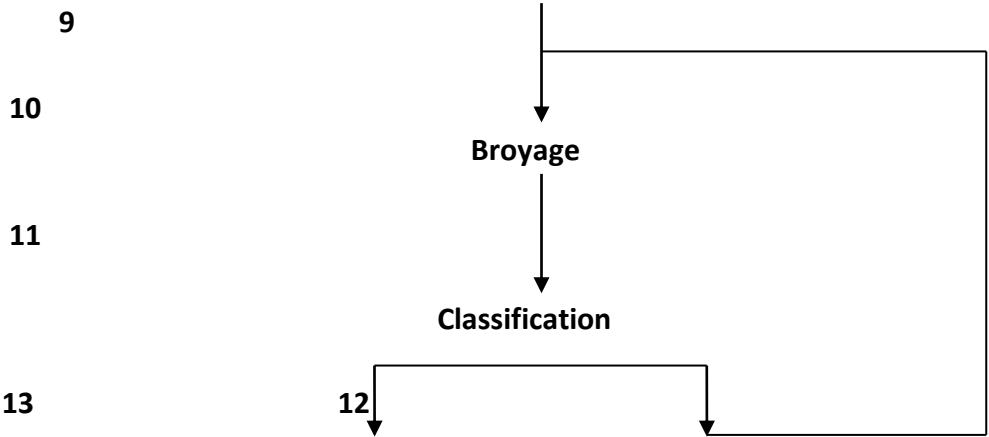


Figure 11 : Schéma de broyage et choix des équipements.

Détermination des poids des produits 9 ; 10 ; 11 ; 12 et 13

1- On détermine les poids et les rendements des produits 9 ; 10; 11;12 et 13 .

Donc : $Q_9 = Q_{br} = Q_1 = 451t / h$; $Q_9 = Q_{br} = 451t / h$

2- La charge circulante pour un minerai dur est comprise

Entre (250 / 500) %

On fixe $C = 250\%$ C : charge circulante

Donc : $Q_{12} = C \times Q_9 = 2,5 \times 451 = 1127,5t/h$

- $Q_{10} = Q_9 + Q_{12} = 451 + 1127,5 = 1578,5t/h$
- $Q_{11} = Q_{10} = 1578,5t/h$
- $Q_{13} = Q_{11} - Q_{12} = 1578,5 - 1127,5 = 451 t / h = Q_1$
- $\gamma_9 = Q_9/Q_1 \times 100 = 451/451 \times 100 = 100\%$
- $\gamma_{10} = Q_{10}/Q_1 \times 100 = 1578,5/451 \times 100 = 350\%$
- $\gamma_{12} = Q_{12}/Q_1 \times 100 = 1127,5/451 \times 100 = 250\%$
- $\gamma_{13} = Q_{13}/Q_1 \times 100 = 451/451 \times 100 = 100\%$
 - **choix de type et nombre des broyeurs :**
 - En fonction de la productivité donnée de la fabrique, on choisit l'espèce de broyeur par la comparaison de différents types. En appliquant la formule suivante :

$$q_d = q_e \cdot K_b \cdot K_g \cdot K_D \cdot K_t$$

Où :

- K_b : coefficient prenant en considération la distinction en broyabilité du minerai qui est projeté au traitement et du minerai étalon, dans notre cas $K_b = 1$
- K_g : Coefficient prenant en considération la distinction en grosseur de produit avant et après le broyage en comparaison des conditions étalon

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

- K_d : Coefficient prenant en considération la distinction en diamètres de broyeur calculé et broyeur étalon
- K_t : 1,1 - 1,15

Donc :

$$Q_e = 1$$

$$K_b = 1$$

$$K_t = 1,1$$

$K_g = m/m_e$ où ; m : rendement relatif de broyeur lors des conditions données = 0,92

M_e : rendement relatif de broyeur lors des conditions étalons = 0,6

$$K_g = 0,92/0,6 = 1,53$$

$$K_D = \frac{\sqrt{D-0,15}}{\sqrt{D_e-0,15}} \text{ où ; } D : \text{diamètre nominal de broyeur choisi}$$

D_e : diamètre nominal de broyeur étalon = 2.7m

$D_1=3,6\text{m} ; L_1=5,5\text{m}$

$D_2=4,0\text{m} ; L_1=5,5\text{m}$

$D_3=4,5\text{m} ; L_1=6,0\text{m}$

$$K_{D1} = \frac{\sqrt{D_1-0,15}}{\sqrt{D_e-0,15}} = \frac{\sqrt{3,6-0,15}}{\sqrt{2,7-0,15}} = 1,16$$

$$K_{D2} = \frac{\sqrt{D_2-0,15}}{\sqrt{D_e-0,15}} = \frac{\sqrt{4,0-0,15}}{\sqrt{2,7-0,15}} = 1,22$$

$$K_{D3} = \frac{\sqrt{D_3-0,15}}{\sqrt{D_e-0,15}} = \frac{\sqrt{4,5-0,15}}{\sqrt{2,7-0,15}} = 1,30$$

Broyeur 1: à boulets à déchargement centrale; $D_1L_1=3600 \times 5500$

Broyeur 2 : à barres à déchargement centrale ; $D_2L_2=4000 \times 5500$

Broyeur 3 : à boulets et à grille; $D_3L_3=4500 \times 6000$

Donc :

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

$$q_{d1} = 1 \times 1 \times 1,53 \times 1,16 \times 1,1 = 1,95$$

$$q_{d2} = 1 \times 1 \times 1,53 \times 1,22 \times 1,1 = 2,05$$

$$q_{d3} = 1 \times 1 \times 1,53 \times 1,30 \times 1,1 = 2,18$$

✓ On détermine la production théorique de chaque broyeur en t/h. On ne prend pas en considération la charge circulante :

✓ on détermine le débit en classe nouvellement formé :

$$Q = Q_{13} (B_F - B_m) = 451(0,75 - 0,12) = 284,13 \text{ t/h}$$

✓ on détermine les volumes des broyeurs :

$$V_{t1} = \frac{Q}{q_{d1}} = \frac{284,13}{1,95} = 145,70 \text{ m}^3$$

$$V_{t2} = \frac{Q}{q_{d2}} = \frac{284,13}{2,05} = 138,6 \text{ m}^3$$

$$V_{t3} = \frac{Q}{q_{d3}} = \frac{284,13}{2,18} = 130,33 \text{ m}^3$$

• On calcule nombre de broyeur nécessaire :

• $N_{b1} = V_{t1} / V_{b1} = 145,70 / 49 = 2,97 \approx 3$

• $N_{b2} = V_{t2} / V_{b2} = 138,6 / 60 = 2,31 \approx 2$

• $N_{b3} = V_{t3} / V_{b3} = 130,33 / 82 = 1,58 \approx 2$

✓ On choisit le type 01 : broyeur à barres 4000×5500 qu'il ne consomme pas beaucoup d'énergie :

Type	Nombre des broyeurs		Coefficient D'exploitation	Poids (t)		Puissance (KW)	
	D'après calcul	Il faut installer		L'un	Tous	L'un	Tous
A boulets 3600×5500 A	2,97	3	$\frac{2,97}{3} = 0,99$	154,9	464,7	1250	3750
A barres 4000×5500	2,31	2	$\frac{2,31}{2} = 1,15$	247,8	495,6	2000	4000

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

A boulets et grille 4500×6000	1,58	2	$\frac{1,58}{2}=0,79$	309,3	618,6	2500	5000
----------------------------------	------	---	-----------------------	-------	-------	------	------

Tableau 10 : Caractéristiques technique des broyeurs choisis.

2-7-calcul des classificateurs :

- ✓ Lors des rendements hauts et un débordement fin d'après la grosseur (-1mm) donc il faut choisir les classificateurs avec les spirales immergées. La grosseur de la classe -0,074 dans le produit broyé est déterminée d'après l'annexe 16, Alors

On détermine le diamètre du classificateur (on installe un classificateur à spirale immergée)

$$D = -0,07 + 0,015 \frac{\sqrt{Q_d}}{\sqrt{m \cdot a \cdot b}}$$

D : diamètre de la spirale (m)

Q_d : quantité de solide dans un débordement de chaque classificateur (rendement de chaque classificateur selon un matériau solide dans un débordement) t/24h

m : nombre des spirales dans un classificateur (1 ou bien 2)

a : correction de grosseur du débordement

b : correction de densité du matériau

- ✓ On fixe le nombre des classificateurs d'après le nombre des broyeurs acceptés « n » au montage et on détermine le rendement d'un classificateur selon un débordement par jour :

- ✓ $Q_d = Q_{13} \cdot 24/n = 451 \times 24/2$

- ✓ $Q_d = 5415 \text{ t/h}$

- ✓ $A = 1$

- ✓ $B = 1$

- ✓ $M = 2$

- ✓ $D = -0,07 + 0,115 \frac{\sqrt{5415}}{\sqrt{2 \times 1 \times 1}} = -0,07 + 0,115 \times 52,03$

- ✓ $D = 5913 \text{ m} = 5,913 \text{ mm}$

On installe un classificateur à spirales immergées

Type : 1 CSI20

✓ Nombre de spirales : 1

✓ Diamètre de la spirale : 2000 mm

✓ dimension de la cuve (en mm)

- Largeur : 13000 mm

- Longueur : 3500 mm

✓ Vitesse de rotation des spirales (2,5 -5) tr /
mm

✓ Puissance des moteurs électriques, KW :

- Pour une commande des spirales : 6,5-10

- Pour une montée des spirales : 4,5

-masse sans équipement électriques : 30,9

Tableau 11 : Caractéristiques de classificateur (Type : 1 CSI20).

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

2-8-mise en regle du calcul :

- ✓ On compose à la fin de la note une nomenclature des équipements

D'enrichissement des ateliers de concassage et broyage d'après la forme suivante :

N°	Type et cotes des équipements	Nbr	Poids d'un appareil (t)	Puissance électrique d'un appareil (KW)	Remarques
1	2	3	4	5	6
1	CMD 6×9 ; B =500 mm	1	20	75	S =100 mm
2	CCCI 1200A ; B = 115 mm	2	23,2	75	S = 8-25 mm
3	Broyeur à barres 4500×6000	2	309,3	2500	V= 16,7tr/min

Tableau 12 : choix d'équipement de concassage et de broyage.

- ✓ On calcul d'après la puissance installée sommaire une consommation d'énergie électrique par tonne de minerai dans un KWR séparément pour l'atelier de concassage et de broyage :

$$P = (75 \times 1) + (75 \times 2) + (2500 \times 2)$$

$$P = 75 + 150 + 5000$$

$$P = 5225 \text{ KWR}$$

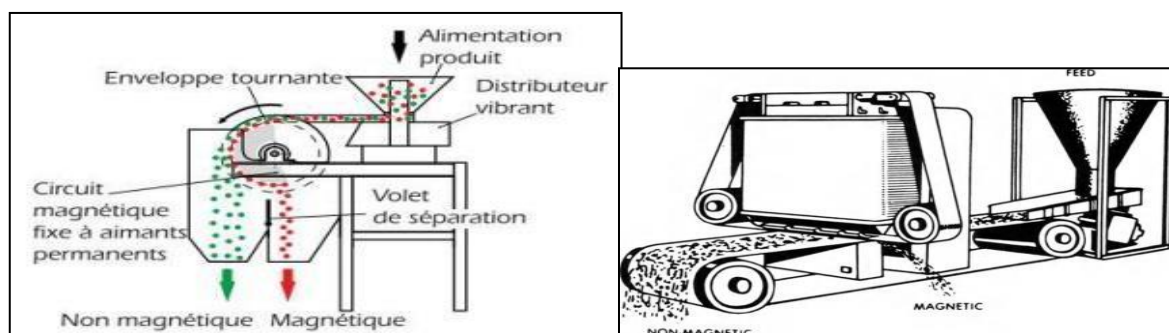
B- Schémas Proposé Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

3-Types de séparateur magnétique

La séparation magnétique des minerais est effectuée en mode sec et humide, chaque mode est classé en séparateurs à faible et haute intensité, chaque mode à ces avantages et inconvénients. La sélection des techniques de séparation magnétique dépend de nombreux facteurs, tels que la texture des minéraux, la taille des particules libérées et leur susceptibilité magnétique correspondante, en plus de la production, le marketing et les questions écologiques.[1]

3-1-séparateurs magnétique à basse intensité (SMBI)

Ils sont utilisés pour traiter certains minéraux hautement paramagnétiques et les minéraux ferromagnétiques (figure 1). La séparation magnétique à sec est appliquée sur la base d'un certain nombre de raisons telles que : la disponibilité locale d'eau, le coût du séchage, les demandes des clients et des problèmes environnementaux en constante évolution. Avec les méthodes secs doivent également être prises pour assurer le contrôle du risque de poussière, une précaution coûteuse tant en capital qu'en coûts d'exploitation. De plus, les séparateurs à sec ont des débits considérablement inférieurs que les machines humides. Les séparateurs à sec donnent souvent une excellente séparation de matériaux plus gros que 75 μm . D'autre part, sur un matériau non dimensionné contenant de grandes portions de fines, le procédé humide est la seule acceptable. Séparateur à sec est plus utilisé pour matériau grossier et fortement magnétique et pour protéger les équipements de traitement élimination de ferraille. Donc, le même équipement, qui peut être utilisé pour le brut la concentration de magnétite grossière de la roche gangue de silice non magnétique, peut également être utilisé pour protéger un concasseur d'une dent de godet de pelle mécanique en acier non écrasable qui s'est rompu et s'est mélangé au minerai.



(a)

(b)

Figure 1: a. Séparateur magnétique à base intensité en voie sèche à tambour,

b. Séparateur magnétique croisé

Les séparateurs humides sont utilisés pour séparer les matériaux fortement magnétiques finement broyés, le milieu plus dense contenant les petites particules sont actionnées individuellement par le champ magnétique. Comme la plupart des valeurs minérales sont aussi des fins cristaux granuleux qui nécessitent un broyage important et un broyage fin pour être libérés, les séparateurs humides sont généralement la dernière étape de la séparation magnétique pour avoir un concentré magnétique final et un résidu non magnétique. Les séparateurs magnétiques humides à tambour sont utilisés pour concentrer des matériaux magnétiques et il existe trois types de base. Ils sont représentés dans la figure 2

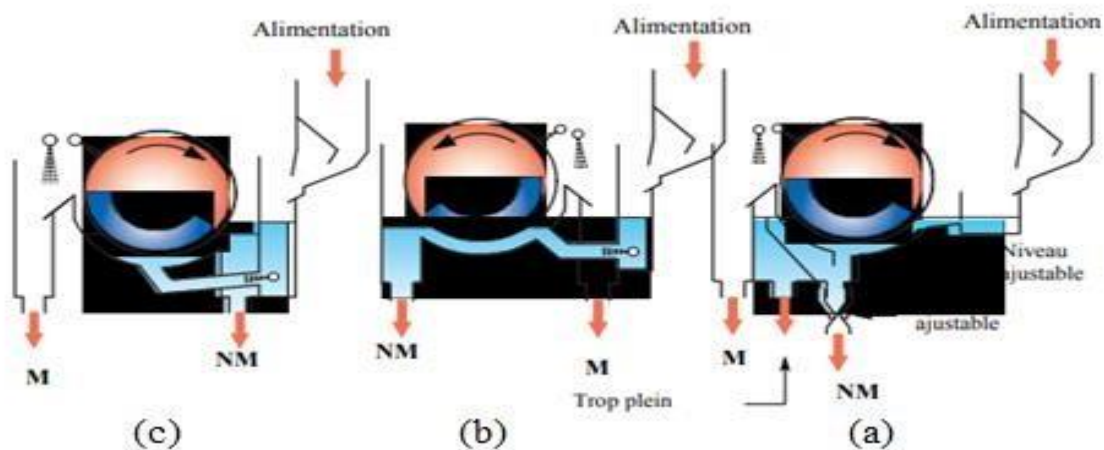


Figure 2 : Séparateurs magnétiques à tambour humide.

(a) : séparateurs à courant parallèle, la pulpe circule dans le même sens que la rotation du tambour .

(b) : séparateurs à contre-rotation, la pulpe circule dans le sens contraire de la rotation du tambour .

(c) : séparateurs à contre-courant, Ce système est un mixage des deux précédents.

Le principe général de fonctionnement pour les trois types est essentiellement le même, qu'une pulpe d'alimentation de solides et d'eau est introduite dans un réservoir relativement étanche dans lequel se trouve un tambour métallique non magnétique rotatif, à permanence stationnaire ou électroaimant à l'intérieur. Les particules magnétiques sont attirées par l'aimant et maintenues contre le tambour en rotation, tandis que les non magnétiques ne sont pas attirées et passent avec le débordement de la pulpe. Lorsque le tambour sort du réservoir et s'éloigne des aimants et leur champ magnétique, les particules magnétiques ne sont plus tenues par le tambour et sont éliminées par un grattoir ou de l'eau de lavage comme produit concentré .[1]

3-2-séparateurs magnétique à haute intensité (SMHI)

La technologie de la séparation magnétique à haute intensité en voie sèche (rotor induit) existe depuis le début du XXe siècle et les perfectionnements ont essentiellement porté sur la forme des pièces polaires, la conception du rotor (denture et rigidité), afin de diminuer la flèche du rotor due aux forces magnétiques importantes mises en jeu. Dans les séparateurs magnétiques à haute intensité, le champ magnétique est généré par :

un électroaimant ou circuit magnétique conventionnel, qui est composé d'une ou de plusieurs bobines en cuivre résistif entourant un noyau de fer doux. Ces systèmes magnétiques conventionnels sont capables de créer un champ magnétique d'environ 1600 kA/m pour une consommation énergétique comprise entre 0,5 et 2,5 kWh par tonne traitée.

un aimant permanent à forte énergie spécifique (BH) et à grande résistance à la démagnétisation .

Les séparateurs magnétiques à haute intensité en voie sèche par extraction sont principalement les séparateurs à bandes transversales et à disques (figure 3). Ils sont équipés d'une bande convoyeuse passant entre les deux pôles d'un électroaimant (entrefer) et soit d'une bande se déplaçant sur la pièce polaire supérieure et transversalement à la bande principale, soit d'un disque denté tournant au-dessus. L'alimentation du minerai se fait en couche mince (1 à 1,5 mm) sur la bande convoyeuse. Les éléments magnétiques passant dans le système sont attirés par la pièce polaire supérieure et évacués sur le côté par la bande transversale ou le disque. Ces appareils sont utilisés pour traiter des substances telles que la chromite, l'ilménite, la monazite, le wolframite, les produits pharmaceutiques ou chimiques, les céramiques, etc.

Par contre, les séparateurs magnétiques à haute intensité en voie sèche travaillant par déviation comportent un rotor denté tournant entre les pièces polaires d'un circuit magnétique. Celui-ci comprend, dans sa conception de base, une culasse magnétique avec un noyau magnétique et une ou deux bobines d'électroaimant entourant ce dernier. Les pôles magnétiques ou pièces polaires, entre lesquelles tourne le rotor soumis à une induction magnétique, peuvent avoir diverses formes (plan incliné ou vertical). La séparation a lieu dans l'intervalle (entrefer) réglable situé entre les pièces polaires avant et le rotor formant un contre-pôle. Le rotor est constitué d'un assemblage de minces tôles en métal allié, isolées les unes des autres de manière à former des arêtes rectangulaires, triangulaires ou trapézoïdales, donc des nervures, des dents ou des filets. [1]

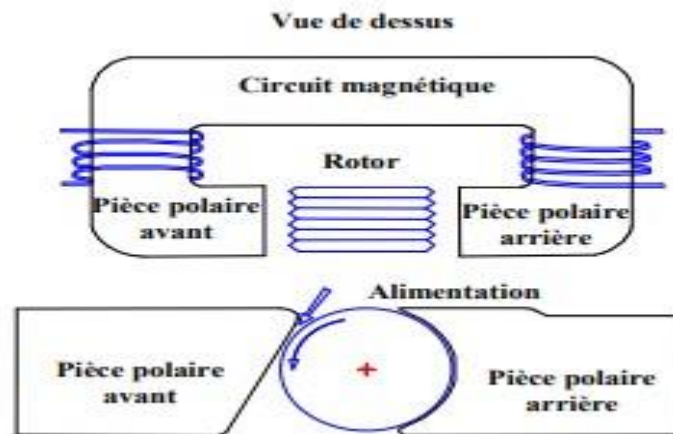


Figure 3 : Séparateur magnétique à haute intensité en voie sèche à rotor induit

4-généralités sur le grillage magnétisant

Le grillage magnétisant est une opération thermique utilisée dans le traitement des minerais de fer pauvres afin de transformer les minéraux faiblement magnétiques, comme l'hématite et la goethite, en magnétite fortement magnétique. Cette transformation facilite ensuite la séparation magnétique et améliore la récupération du fer. Cette technique est largement utilisée dans les procédés d'enrichissement des minerais difficiles à valoriser directement[2]

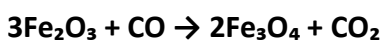
5- principe du grillage magnétisant

Le principe du grillage magnétisant repose sur le chauffage du minerai de fer dans une atmosphère réductrice contrôlée. Sous l'effet de la température et des gaz réducteurs comme le monoxyde de carbone, les oxydes de fer sont partiellement réduits pour former de la magnétite. Cette transformation permet d'augmenter la susceptibilité magnétique du minerai et facilite son enrichissement par séparation magnétique[3]

6- réactions chimiques du grillage magnétisant

Durant le grillage magnétisant, plusieurs réactions chimiques se produisent afin de transformer les oxydes de fer. L'hématite (Fe_2O_3) est réduite en magnétite (Fe_3O_4) selon des réactions thermochimiques réalisées sous atmosphère réductrice. Ces réactions améliorent les propriétés magnétiques du minerai et favorisent la récupération du fer lors de la séparation magnétique.

Exemple :



7-l'échantillonnage

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

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

Les principales étapes qui caractérisent une démarche d'échantillonnage sont l'élaboration d'une stratégie de prélèvement, le prélèvement des échantillons sur le site, la conservation des échantillons et leur préparation pour les fins d'analyses. La valeur des résultats de la caractérisation dépend de la réalisation adéquate de toutes ces étapes. [5]

7-1-prélèvement des échantillons

Les échantillons ont été prélevés in situ à la partie du périmètre de notre étude (quartier SID). Notre compagnie d'échantillonnage est commencée par une galerie au jour dugisement, qui emmène aux différents ouvrages: galeries d'exploitation, déroulage et recoupe, dugisement. Des échantillons d'environ (01 à 05 kg).

Les lots d'échantillons sont étiquetés et stockés dans des sacs en plastiques doubles puis envoyés vers le laboratoire minéralurgique du complexe pour leur préparation ainsi une détermination préalable de la teneur moyenne en éléments majeurs (fer).

Une partie du lot est envoyée vers le laboratoire de science et de la terre à l'université de Tébessa pour la préparation des sections polies et les soumettre aux observations microscopiques. [5]

7-2- préparation des échantillons

Après qu'ils ont subis un premier concassage par un concasseur à mâchoire de type laboratoire, jusqu'à moins de 3 mm, une première homogénéisation paraît nécessaire par effet de l'hétérogénéité de minerai altéré présentée à la surface.

Le produit issu du broyage est d'une granulométrie de (80 µm) suite à une série d'opérations d'homogénéisation et de quartage effectuée soigneusement pour éviter toute sorte d'erreurs systématiques qui peuvent fausser les résultats, et afin d'avoir un échantillon plus représentatif qu'il sera l'objet d'une analyse granulométrique et autres tests de séparation minéralurgiques. [5]

8-Analyse chimique :

Teneur en Fe

a- Le matériel et réactifs pour les analyses

Matériel :

- Balance
- Erlenmeyer
- Plaque Chauffante
- Pipette
- Agitateur magnétique

Réactifs :

- 25ml d'acide chlorhydrique (HCl)
- Gouttes de chlorure d'étain (SnCl_2)
- Eau distillée
- 10ml Mercuric chloride (HgCl_2)
- 10ml Mélange d'acide Sulfurique (H_2SO_4) et d'acide phosphorique (H_3PO_4)
- 10 gouttes de Diphenylamino Sulfonate ($\text{C}_{24}\text{H}_{20}\text{BaN}_2\text{O}_6$)
- Gouttes de Bichromate de Sodium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)



Figure 4 : Acides utilisées pour l'analyse

b-étapes de analyse

- On pèse 0.1g de l'échantillon .
- On ajoute 25ml de HCl (Acid chlorhydrique) et on laisse le minerai se dissoudre pendant environ 20 minutes .
- Après dissolution du Fe ,On ajoute quelques gouttes de SnCl₂ (Chlorure d'étain) Jusqu'à obtenir une Solution Claire .
- On effectue un refroidissement avec de l'eau distillée jusqu'à ce que le Volume atteigne 100ml .
- Après refroidissement , On ajoute 10ml de HgCl₂ (Mercuric chloride) puis 10ml d'un mélange d'acide Sulfurique H₂SO₄ et d'acide phosphorique H₃PO₄ et enfin 10gouttes de Diphenylamino Sulfate (C₂₄H₂₀BaN₂O₆S₂).
- On place la Solution Sur un agitateur et on ajoute progressivement Quelques gouttes de bichromate de Sodium K₂Cr₂O₇.
- Lorsque la Solution devient Violette , On relève le nombre de gouttes ajoutées et on mesure le Volume total utilisé .

Calcul de la teneur en fer (Fe)

$$\text{Fe}\% = V \times T$$

V : volume de la Solution utilisée pour le titrage en (ml)

T : facteur correspondant à la réaction 2 .90.

$$V=14.7 ; T=2.90$$

$$\text{Fe}\% = V \times T = 14.7 \times 2.90 = 42.63\%$$

9-Calcul du Schémas Proposé de Séparation magnétique

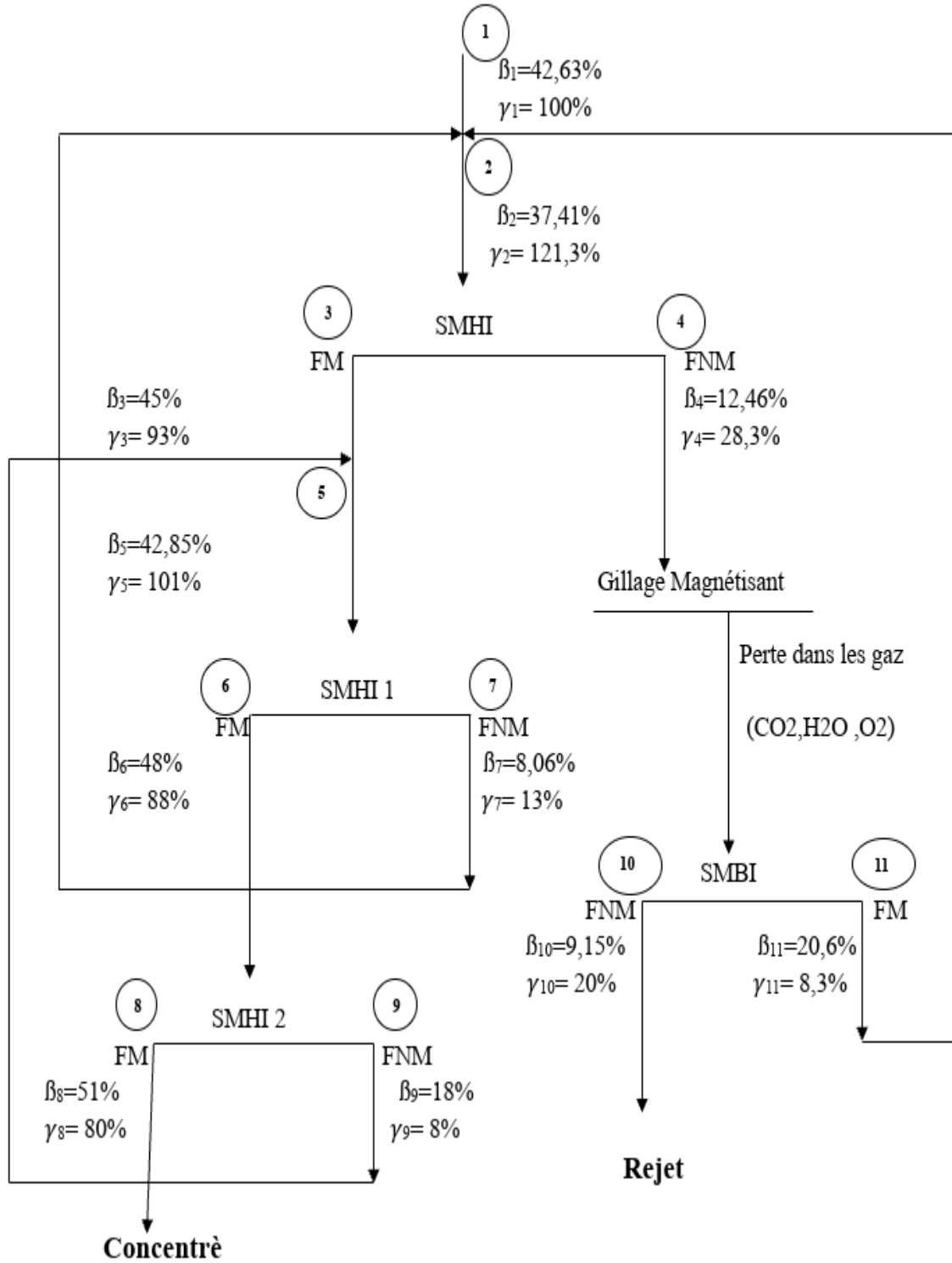


Figure 12:Schéma de Séparation magnétique

10- Calcul le rendement massique de Séparation magnetique.

❖ Calcul le rendement massique de Séparation magnetique a haute intensité :

- SMHI Principal

$$\gamma_1 = 100\%$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 + \gamma_7 + \gamma_{11} \rightarrow \gamma_2 = 100 + 13 + 8,3 \rightarrow \gamma_2 = 121,3\%$$

$$\gamma_3 = 93\%$$

$$\gamma_4 = \gamma_2 - \gamma_3 \rightarrow \gamma_4 = 121,3 - 93 \rightarrow \gamma_4 = 28,3\%$$

- SMHI 1

$$\gamma_6 = 88\%$$

$$\gamma_5 = \gamma_6 + \gamma_7 \rightarrow \gamma_5 = 88 + 13 \rightarrow \gamma_5 = 101\%$$

$$\gamma_7 = \gamma_6 - \gamma_5 \rightarrow \gamma_7 = 88 - 101 \rightarrow \gamma_7 = -13\%$$

- SMHI 2

$$\gamma_8 = 80\%$$

$$\gamma_6 = \gamma_8 + \gamma_9 \rightarrow \gamma_9 = \gamma_6 - \gamma_8 \rightarrow \gamma_9 = 88 - 80 \rightarrow \gamma_9 = 8\%$$

❖ Calcul le rendement massique de Séparation magnetique a base intensité :

- SMBI

$$\gamma_{10} = 20\%$$

$$\gamma_{11} = 8,3\%$$

11- Calcul le Teneur de Séparation magnetique.

❖ Calcul le Teneur de Séparation magnetique a haute intensité :

- SMHI Principal

$$\beta_1 = 42,63\%$$

$$\gamma_2 \beta_2 = \gamma_1 \beta_1 + \gamma_7 \beta_7 + \gamma_{11} \beta_{11} \rightarrow \beta_2 = \frac{\gamma_1 \beta_1 + \gamma_7 \beta_7 + \gamma_{11} \beta_{11}}{\gamma_2}$$

$$\rightarrow \beta_2 = \frac{(42,63 \times 100) + (13 \times 8,06) + (8,3 \times 20,6)}{121,3} \rightarrow \beta_2 = 37,41$$

$$\beta_3 = 45\%$$

$$\gamma_2 \beta_2 = \gamma_3 \beta_3 + \gamma_4 \beta_4 \rightarrow \beta_4 = \frac{\gamma_2 \beta_2 - \gamma_3 \beta_3}{\gamma_4} \rightarrow \beta_4 = \frac{(37,41 \times 121,3) - (45 \times 93)}{28,3} \rightarrow \beta_4 = 12,46$$

- SMHI 1

$$\beta_6 = 48\%$$

$$\gamma_5 \beta_5 = \gamma_6 \beta_6 + \gamma_7 \beta_7 \rightarrow \beta_5 = \frac{\gamma_6 \beta_6 + \gamma_7 \beta_7}{\gamma_5} \rightarrow \beta_5 = \frac{(88 \times 48) + (8,06 \times 13)}{101} \rightarrow \beta_5 = 42,85\%$$

$$\gamma_7 \beta_7 = \gamma_6 \beta_6 - \gamma_5 \beta_5 \rightarrow \beta_7 = \frac{\gamma_6 \beta_6 - \gamma_5 \beta_5}{\gamma_7} \rightarrow \beta_7 = \frac{(88 \times 48) - (42,86 \times 101)}{13} \rightarrow \beta_7 = 8,06\%$$

- SMHI 2

$$\beta_8 = 51\%$$

$$\gamma_6 \beta_6 = \gamma_8 \beta_8 + \gamma_9 \beta_9 \rightarrow \beta_9 = \frac{\gamma_6 \beta_6 - \gamma_8 \beta_8}{\gamma_9} \rightarrow \beta_9 = \frac{(88 \times 48) - (51 \times 80)}{8} \rightarrow \beta_9 = 18\%$$

CHAPITRE 4: étude Quantitative et Qualitative de minerai de fer de l'Ouenza

❖ Calcul le Teneur de Séparation magnétique a base intensité :

• **SMBI**

$$\gamma_1 \beta_1 = \gamma_8 \beta_8 + \gamma_{10} \beta_{10} \rightarrow \beta_{10} = \frac{\gamma_1 \beta_1 - \gamma_8 \beta_8}{\gamma_{10}} \rightarrow \beta_{10} = \frac{(42.63 \times 100) - (51 \times 80)}{20} \rightarrow \beta_{10} = 9.15\%$$

$$\beta_{11} = 20.6$$

Conclusion

L'étude du schéma qualitatif et quantitatif appliqué au traitement du minerai de fer a permis de mettre en évidence l'importance des opérations de préparation mécanique et de séparation magnétique dans le procédé d'enrichissement. Les différentes étapes de concassage, broyage et tamisage assurent une bonne libération des particules minérales utiles, facilitant ainsi leur récupération lors de la séparation magnétique.

L'analyse quantitative, basée sur les bilans de matière et les calculs des teneurs et des rendements, a permis d'évaluer l'efficacité du schéma proposé et de déterminer les performances du procédé de traitement. Les résultats obtenus montrent que la séparation magnétique constitue une méthode efficace pour améliorer la teneur en fer et réduire les impuretés présentes dans le minerai.

Ainsi, l'association de la préparation mécanique et de la séparation magnétique représente une solution adaptée pour la valorisation des minerais de fer pauvres, permettant d'obtenir un concentré de meilleure qualité répondant aux exigences industrielles

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons étudié le minerai de fer pauvre du gisement de l'Ouenza ainsi que les possibilités de valorisation à travers les différentes opérations de traitement et d'enrichissement.

Dans le premier chapitre, nous avons abordé l'étude géologique du gisement en présentant sa situation géographique, son cadre géologique ainsi que ses caractéristiques structurales et minéralogiques. Cette étude a permis de mieux comprendre la nature du minerai et les conditions de sa formation et de son exploitation.

Le deuxième chapitre a été consacré aux généralités sur le minerai de fer, notamment ses différents types, ses propriétés physiques et chimiques, son importance économique et industrielle, ainsi que ses réserves et ses principales utilisations.

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté les principales technologies d'enrichissement du minerai de fer utilisées dans le monde. Les différents procédés étudiés ont permis de déterminer la méthode la plus adaptée au traitement du minerai objet de notre étude.

Enfin, le quatrième chapitre a porté sur l'étude quantitative et qualitative du minerai de fer pauvre de l'Ouenza. Les calculs réalisés pour la préparation mécanique, le choix des équipements et l'élaboration du schéma technologique ont permis de proposer une méthode de traitement basée sur la séparation magnétique afin d'améliorer la teneur en fer et de réduire les impuretés.

Les résultats obtenus montrent que l'application d'un schéma technologique approprié permet d'améliorer la qualité du minerai et d'optimiser son exploitation. Ainsi, la valorisation du minerai de fer pauvre de l'Ouenza constitue une solution prometteuse pour renforcer les ressources minières nationales et contribuer au développement de l'industrie sidérurgique en Algérie.

Références bibliographique

CHAPITRE 1 : Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza

[1]:Rapport geologique (Enregistré automatiquement).Généralités sur l'exploitation du minerai de fer dans le cas de la mine de l'Ouenza

[2]: MENAI HAITHAM GHILANI DHIA EDINE. Conditions d'exploitation du stock pauvre en fer dans la mine de l'Ouenza. diplôme de Master. Université Larbi Tebessi – Tébessa. 2022-2023

[3]: Houdaifa GUELAI Hadjira MERAHI. Enrichissement et agglomération du minerai de fer pauvre de L'Ouenza. diplôme de Master. Université Larbi Tebessi – Tébessa. 2019-2020

[4]:rapport-géologique.2020(Societe des mines de fer de l'est mine de l'ouenza)

[5]:Rapport Géologique Act 2024(Societe des mines de fer de l'est mine de l'ouenza)

[6]:plan d'exploitation 2026 .MINES DE FER DE L'ESTMINE DE L'OUENZA
Division Études et Développement.

CHAPITRE 2: Généralités sur le minerai de fer

[1] :KHENKHAR, M. I. (2018). Les procédés d'Enrichissement et mise en tas du minerai de fer de l'Ouenza. Mémoire d'ingénieur d'état en Génie Minier, École Nationale Polytechnique (ENP).

[2] :<https://www.minejxsc.com/fr/blog/4-types-of-iron-ore/>

[3] :KHENKHAR, M. I. (2018). Les procédés d'Enrichissement et mise en tas du minerai de fer de l'Ouenza. Mémoire d'ingénieur d'état en Génie Minier, École Nationale Polytechnique (ENP).

[4] :https://uel.unisciel.fr/chimie/elements1/elements1_ch01/co/apprendre_ch1_16.html#tools

[5] :MENAI Haithem ; GHILANI Dhia Eddine.Conditions d'exploitation du stock pauvre en fer dans la mine de l'Ouenza.Mémoire de Master en Génie minier, option exploitation des mines, Université de Tébessa, année universitaire 2022–2023.

[6] :MENAI Haithem ; GHILANI Dhia Eddine.Conditions d'exploitation du stock pauvre en fer dans la mine de l'Ouenza.Mémoire de Master en Génie minier, option exploitation des mines, Université de Tébessa, année universitaire 2022–2023.

[f1] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Pyrite>

[f2] :<https://fr.wikipedia.org/wiki/Sid%C3%A9rite>

[f3] :<https://www.lithotherapie.net/articles/magnetite/>

[f4] :<https://fr.wikipedia.org/wiki/Magn%C3%A9tite>

[f5] :<https://fr.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9matite>

[7] :<http://www.fossiliraptor.be/fer.htm>

[8] :GUELAI Houdaifa, MERAHI Hadjira. Enrichissement et agglomération du minerai de fer pauvre de l'Ouenza. Mémoire de Master, Filière Génie minier, Option Minéralurgie, Université de Tébessa, 2019–2020.

[9] :<https://fr.slideshare.net/slideshow/la-fonte/16408882>

[10] :GUELAI Houdaifa, MERAHI Hadjira. Enrichissement et agglomération du minerai de fer pauvre de l'Ouenza. Mémoire de Master, Filière Génie minier, Option Minéralurgie, Université de Tébessa, 2019–2020.

[11] :<https://magmatranslation.com/stats/fr/previsions-production-minerai-fer-2025>

[12] :MENAI Haïthem, GHILANI Dhia Eddine. Conditions d'exploitation du stock pauvre en fer dans la mine de l'Ouenza. Mémoire de Master, Filière : Génie minier, Option : Exploitation des mines, Université Larbi Tebessi – Tébessa, Promotion 2022–2023.

[13] :https://biblio-iaast.univ-setif.dz/opac_css/index.php?id=3707

[14] :<https://topdestinationsalgerie.com/4-carte-des-principaux-gites-et-gisements/>

[15] :GUELAI Houdaifa, MERAHI Hadjira. Enrichissement et agglomération du minerai de fer pauvre de l'Ouenza. Mémoire de Master, Filière Génie minier, Option Minéralurgie, Université de Tébessa, 2019–2020.

[16] :<https://fr.tradingeconomics.com/commodity/iron->

[17] :<https://www.vietnam.vn/fr/gia-quang-sat-vuot-109-usd-tan-nghich-ly-giua-ky-vong-va-thuc-te-cung-cau>

[18] :<https://www.ck12.org/flexi/fr/chimie/occurrence-et-extraction-de-certains-metaux/quels-sont-les-usages-du-fer/>

[19] :Mémoire de fin d'étude 2016/2017 (Application d'un schéma technologique de traitement du minerai de fer de l'Ouenza). BAIZID Mohamed - MESSAOUD Bilal.

CHAPITRE 3: Technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde

[1]:AYADI BRAHIM. Caractérisation et choix d'un schéma de traitement du minerai de douamis . diplôme de Master. Université Badji Mokhtar Annaba. 2010-2009

[2]: MESSAI ALI. Contribution à l'étude de l'enrichissement des minerais de fer . diplôme de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. 2019

[3]: HALIMI FAHIMA . ETUDE DU GISEMENT DE FER DE CHAADET EL BALLOUT . diplôme de Master. Université Badji Mokhtar Annaba. 2008

[4]:KHENKHAR MOHAMED ISLAM . procédés d`enrichissement du minerai de fer de l`ouenza . diplôme de Master. Ecole Nationale polytechnique . 2018

[5]:BOUKERCHA A.MOULOUD R . Etude métallurgique de l`acier A106 GB . diplôme de Master. Université M`Hamed Bougara Boumerdés . 2017

CHAPITRE 4: Schémas Proposé de traitement du minerai de fer étude Quantitatif et Qualitatif

[1]: TIOUR Fahem . Caractérisation et choix d`un procédé de valorisation du minerai de fer du gisement de Khanguet – Tébessa par séparation magnétique . diplôme de Doctorat. Ecole Nationale polytechnique . 2023

[2]: Gaudin A.M., Principles of Mineral Dressing, McGraw-Hill, 1939

[3]: Wills B.A., Mineral Processing Technology, Elsevier, 2006

[4]: Habashi F., Handbook of Extractive Metallurgy, Wiley-VCH, 1997

[5]:Professeur Aouati Mourad Salim