



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 العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

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

Filière : Génie minier

Option : Minéralurgie

Enrichissement et agglomération du minerai de fer pauvre de L'Ouenza

Présenté et soutenu par

Houdaifa GUELAI

Hadjira MERAHI

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président :	Abdellali BOUZENZANA	MCA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	Abdelkrim AMIRECH	MCB	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineur :	Hamza BENZIAT	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2019-2020

Remerciements

*En préambule à ce mémoire, qui est un aboutissement à de longues et fastidieuses années d'études universitaire, je remercie **DIEU** le tout puissant de m'avoir aidé et fourni le courage nécessaire, qui m'ont permis de surmonter les difficultés durant ce parcours universitaire*

- ✓ *De nombreuses personnes ont contribué scientifiquement intellectuellement Ou techniquement à la réduction de ce mémoire.*
- ✓ *Que toutes les personnes qui ont participé à ce projet de près ou de loin en soient pleinement remerciées.*
- ✓ *J'exprime ma grande reconnaissance et mes vifs remerciements à mon promoteur Mr **AMIRECH Abdelkrim** la confiance qu'il m a témoigné en me dirigé tout au long de ce projet sa disponibilité ses encouragements et sa patience qui ma permis de finaliser ce modeste travail.*
- ✓ *Je remercie très vivement l'ensemble d'enseignant de département de génie des mines et l'ensemble du personnel de la bibliothèque de notre université pour l'aide qu'ils nous ont fournie.*
- ✓ *Je remercie vont également à tous mes amies et collègues de promotion 2020 Enfin mes remerciements s'adressent à tous les membres du jury.*



Dédicace

Pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenu aujourd'hui .

Je voudrais remercier le SEINGNEUR des mondes par qui tout est possible :
DIEU .

À celui qui m'a appris à ne pas m'incliner devant l'obstacle de la vie, à celui qui a ouvert la voie du succès devant moi, à celui qui m'a soutenu dans les circonstances et les adversités les plus difficiles, à ma chère et compatissante mère, que Dieu prolonge sa vie, quant à ma mère, elle n'a pas eu d'argent jusqu'à ce que mes rêves se réalisent. Mais elle était propriétaire d'un grand cœur, quand elle était incapable de réaliser mes rêves ... Elle m'a fait son rêve ... et elle a cherché à réaliser mes rêves.

À qui tu m'as appris l'ABC de la vie À ma main. À celle qui a fait des perles de sueur coulant de son front en perles que j'allais orner à celle qui a surmonté les difficultés pour ma mère **Hnia** qui s'appelle **Hanon**.

À ceux qui ont fait de l'aile de l'espoir un vœu pieux et ont fait de leur présence un trésor indestructible et de leur proximité: **Abd al-Karim, Salsabil, Amouna** l'oiseau de la maison, que Dieu le préserve .

À ma chère sœur qui ne lui ressemble pas dans sa générosité et sa générosité. Je demande à Dieu de la guérir et de la perpétuer avec une couronne au-dessus de ma tête: **Ribh** et mon frère: **Jalloul** .

À l'honorable famille , mes oncles et tantes , cousin et cousines .

À ceux qui m'ont accompagné dans mon parcours académique chez mon frère, dont ma mère n'a pas donné naissance, à des amis de ma vie et à mes compagnons, et aux enfants de tout simplement voisinage: **Oussama, Mohammad, Rizgui, Ali, Zidan, Mousa, Taher, Khairi, Al-Yamin**. Et les aînés de mes frères des enfants de mon quartier. Juste que je les connais pendant qu'ils sont à côté de moi. Cela suffit. Merci, mes frères .

Aux boursiers de l'Institut, option minéralurgie promotion 2020 , À mes sœurs de ma vie : À celles avec qui j'ai vécu de beaux jours et qui ont fait souffrir mon cœur avec elles et pleurent leur séparation et la mémoire ne les oublie pas.

À tout le monde a une place spéciale dans mon cœur .

À ceux que je ne pourrais pas mentionner par inadvertance, ne me négligez pas.

À vous tous, je dédie cet humble travail, fruit d'années d'études continues.

dedicace

Pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenu aujourd'hui, je voudrais remercier le SEINGEUR des mondes par qui tout est possible: **DIEU**

Je dédie ce modeste travail à la lumière de mes jours la source de la joie ma lune et mon âme ma chère maman" **ILLOUL Fatima "**

Sans oublier l'homme de ma vie la source de mes efforts mon exemple éternel ma raison de vivre mon roi mon héros mon chère papa" **RACHID"**

A mes sœurs: "**HINDA AMAL CHADLIA FADHILA"** et A mes frères.

A mes grandes mères et grands-pères.

Je dédie aussi à mon guide de ce travail "**Bouroro Mourad ,Ali messia** ».

A toute ma famille qui ont toujours aidé et encouragé.

A toute la promotion valorisation minière 2020.

A mes amis : »**MAJDA, FIRIEL, ASMA, IBTIHAL, HIBA, SOUHAILA, AMANI, ACHWAK, AILOL, SARA, SALWA, TOUTA, HAFSIA, FARAWLA, ABIR.....** »

HADJIRA

Résumé

Le gisement de l'Ouenza est le principal fournisseur en minerai de fer du complexe sidérurgique d'El Hadjar, la qualité de fer et de l'acier dans la sidérurgiques est liée à la qualité de la matière première utilisée dans sa fabrication , représentée par le minerai de fer comme la composition chimique et la contenu de ses éléments constitutifs le déterminent la majorité d'entre elle est composée de fer avec d'autres éléments tels que la chaux, la silice, etc.

Le but principal de notre travail est d'arriver à élaborer un nouveau schéma de traitement de minerai de fer pauvre d'Ouenza, pour obtenir un concentré riche en Fe₂O qui sera utilisé dans l'industrie sidérurgique avec une agglomération pour préparer le minerai à être utiliser dans les hauts fourneaux et la réduction de coût économique.

Cependant l'étude du minerai a été menée sur la caractérisation minéralogie-chimique du minerai de fer. Des échantillons prélevés ont été soumis à des observations par microscopie, DRX, FX et analyses chimiques complémentaires par absorption atomique. Les minéraux ainsi identifiés sont principalement (Hématite, Sidérose) pour le fer et. La gangue est représentée essentiellement par la calcite et le quartz. Les échantillons analysés titrent en moyenne 42% (Fe). Après une étude des propriétés physico-mécaniques des constituants du minerai, on préconise ainsi une séparation du minerai par séparation magnétique à basse intensité précédé par un grillage magnétisant, pour l'extraction en premier lieu des minéraux ferrifères puis une flottation pour augmenter sa teneur. Les résultats du premier essai de séparation magnétique prene d'efficacité avec la séparation magnétique à basse intensité, avec un grillage qui à abouti à une extraction moyen de 76% fer avec un teneur de 42%.

L'augmentation de la teneur de minerai de fer de la séparation magnétique à été facilement réalisé par la flottation , dont les teneurs (65%) et degré d'extraction de (85%) de cuivre témoignent l'efficacité de ce procédé de séparation.

Mots clés : Mine Ouenza, Minerai Fe-Cu, Traitement des minerais, Séparation magnétique, Agglomération.

Abstract

The Ouenza deposit is the main supplier of iron ore to the El Hadjar steel complex, the quality of iron and steel in the steel industry is linked to the quality of the raw material used in its manufacture, represented by iron ore as the chemical composition and the content of its constituent elements determine it the majority of it is composed of iron with other elements such as lime, silica, etc.

In order to determine these contents, we must find the best method to carry out the analysis of this raw material the most efficient, the most reliable and if possible the fastest which will then provide the best result.

However, the ore study was carried out on the mineralogy-chemical characterization of iron ore. Samples taken were subjected to observations by microscopy, XRD, FX and additional chemical analyzes by atomic absorption. The minerals thus identified are mainly (Hematite, Siderosis) for iron and. The gangue is mainly represented by calcite and quartz. The samples analyzed titrate on average 42% (Fe). After a study of the physic-mechanical properties of the constituents of the ore, we recommend a separation of the ore by magnetic separation at low intensity preceded by a magnetizing roasting, for the extraction first of the iron minerals then a flotation to increase its content. The results of the first magnetic separation test take effect with the low intensity magnetic separation, with a scorch which resulted in an average extraction of 76% iron with a content of 42%.

The increase in the iron ore content of the magnetic separation was easily achieved by flotation, whose copper contents (65%) and degree of extraction (85%) testify to the efficiency of this separation process. .

Keywords: Ouenza mine, Fe-Cu ore, Ore processing, Magnetic separation, Agglomeration

المخلص

ودائع ونزرة هي المورد الرئيسي لخام الحديد لمجمع الحجار للصلب ، وترتبط جودة الحديد والصلب في صناعة الصلب بجودة المواد الخام المستخدمة في تصنيعها ، ويمثلها خام الحديد كتركيب كيميائي و يحدد محتوى العناصر المكونة له أن معظمه يتكون من الحديد مع عناصر أخرى مثل الجير والسيليكا وما إلى ذلك.

من أجل تحديد هذه المحتويات ، يجب أن نجد أفضل طريقة لإجراء تحليل لهذه المادة الخام هي الأكثر كفاءة والأكثر موثوقية والأسرع إن أمكن والتي ستوفر أفضل نتيجة.

ومع ذلك ، أجريت دراسة الخام على الخصائص المعدنية والكيميائية لخام الحديد. تم إخضاع العينات المأخوذة للملاحظات عن طريق الفحص المجهرى و اشعة اكس و انقسام عن طريق أشعة إكس وتحليلات كيميائية إضافية عن طريق الامتصاص الذري. المعادن التي تم تحديدها على هذا النحو هي بشكل رئيسي (الهيماتيت ، و السيديروز) للحديد و. يتم تمثيل الشوائب بشكل رئيسي بالكالسيت والكوارتز. العينات التي تم تحليلها عاير بمعدل % (0). بعد دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمكونات الخام ، نوصي بفصل الخام عن طريق الفصل المغناطيسي بكثافة منخفضة مسبقة بالتحميص الممغنط ، لاستخراج معادن الحديد أولاً ثم التعويم لزيادة محتواه . تسري نتائج أول اختبار للفصل المغناطيسي مع الفصل المغناطيسي منخفض الشدة ، مع احتراق نتج عنه استخراج متوسط % من الحديد بنسبة %.

تم تحقيق الزيادة في محتوى خام الحديد للفصل المغناطيسي بسهولة عن طريق التعويم ، حيث تشهد محتويات النحاس (%65) ودرجة الاستخراج (%85) على كفاءة عملية الفصل هذه .

الكلمات المفتاحية: منجم ونزرة ، خام الحديد والنحاس ، معالجة الخام ، الفصل المغناطيسي ، التكتل.

LISTES DES FIGURES

- Fig. I.1.** mine de l'Ouenza en avril 1966
- Fig. I.2.** Situation géographique du gisement de l'Ouenza
- Fig. I.3.** Localisation de la région d'étude
- Fig. I.4.** Carte géologique du Quartier Chagoura Nord
- Fig. I.5.** Carte Géologique du quartiers Chagoura Pic-Sud
- Fig. I.6.** Carte géologique du Quartier Sainte Barbe (Ilot).
- Fig. I.7 .** Gisements de fer de l'Ouenza
- Fig. I.8.** Coupe dans la structure anticlinale du gisement de l'Ouenza
- Fig. I.9.** Collection de Roches & Minéraux: Oxyde et Hydroxyde - mine de l'Ouenza
- Fig. I.10.** La sondeuse INGERSOLL-R(T4BH900HR4) en travail de mine de l'Ouenza.
- Fig. I.11.** Schéma des trous de la mine de l'Ouenza
- Fig. I.12.** Le tir de la mine de l'Ouenza
- Fig. I.13.** Camion CATERPILLAR type 775F
- Fig. I.14.** La chargeuse CATERPILLAR TYPE 988 H
- Fig. I.15.** Processus d'exploitation de minerai de fer dans la mine de l'Ouenza
- Fig. I.16.** Schéma technologique d'extraction et de préparation du minerai de fer de l'Ouenza
- Fig. I.17.** Schéma de préparation mécanique des échantillons pour analyse granulométrique et chimique
- Fig. II.1.** Structure de la pyrite. Jaune
- Fig. II.2.** Pyrite - mine de Batère, Orientales gris : Fe^{2+} .
- Fig. II.3.** Siderite - Mine Morro Velho, Brésil -(21x13cm)
- Fig. II.4.** Structure cristalline de la Magnétite

Fig. II.5. Hématite Rose de Fer - Ouro Preto, Brésil (6x3,6 cm)

Fig. II.6. Graphique des plus grands pays producteurs de fer De 2013 à 2019

Fig. II.7. L'évolution de la production d'acier entre 1950 et 2016

Fig. II.8. Production arabe du minerai de fer en 2015

Fig. II.9. Carte de répartition des principaux gisements en Algérie (Ministère de l'Industrie et des Mines, 2015)

Fig. II.10. Les réserves de minerai de fer dans le monde en 2019

Fig. II.11. L'évolution des prix du minerai de fer de 2006 jusqu'a 2020

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

Fig.III.2:Schéma de traitement des minerais de fer oxydent Russisa

Fig.III.3: Schéma de traitement des minerais hématiques : France

Fig.III.4: Minerai brut – Goethite

Fig. III.5: Minerai grillé.

Fig. 0.1 : Schéma de préparation mécanique.

Fig. 0.2 : caractéristique granulométrique du produit brut(1).

Fig. IV-3 : caractéristique granulométrique du produit N°4.

Fig. 0.4 : caractéristique granulométrique du produit N°5.

Fig. 0.5: courbe de l'analyse granulométrique de produit N°8

Fig. 0.6: caractéristique granulométrique du produit N°9.

Fig. 0.7 : Schéma de broyage et choix des équipements.

Fig. 0.8 : Tamiseuse électro-vibrante

Fig.IV.9 : graphe d'analyse granulométrique

Fig. IV.10: Première observation du minerai de fer par le MEB

Fig. IV.11.Diffractogramme de l'analyse par EDX de la 1 ere observation

Fig. IV.12.Deuxième observation du minerai de fer par le MEB

Fig. IV.13. Diffractogramme de l'analyse par EDX de la 2 éme observation

Fig .IV.14. Schémas de traitement

Chapitre V: Procédés l'agglomération

Introduction

Fig. V.1 : Etapes de procédés de nodulisation

Fig. V.2: Processus de chargement de la chaîne d'agglomération

Fig. V.3. Processus de charge de la couche de protection

Fig. V.4. Hotte d'allumage

Fig. V.5. Section verticale d'une couche en cours d'agglomération

Fig. V.6. Schéma de la propagation du front de flamme

Fig. V.7. Circuit de cautionnement

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau. I.1** .Composition chimique moyenne du minerai de l'Ouenza.
- Tableau. I.2.**Réserves géologiques du Gisement de l'Ouenza.
- Tableau. I.3.**Réserves exploitables du Gisement de l'Ouenza.
- Tableau. II.1.** valeur moyenne du coefficient de dureté du minerai de fer de l'Ouenza
- Tableau. II.2.** valeur de masse volumique du minerai de fer de l'Ouenza
- Tableau. II.3** .Caractéristique des minerais de fer carbonatés
- Tableau. II.4.**Caractéristique des minerais de fer oxydés
- Tableau. II.5.**Caractéristique des minerais de fer silicatés
- Tableau. II.6.**Caractéristique des minerais de fer sulfurés
- Tableau. II.7.** Composition chimique et différentes teneur en oxydes.
- Tableau .II.8.** Quelques caractéristiques et composition chimique des minerais de fer Algériens.
- Tableau. II.9.** Liste des plus grands pays producteurs de fer De 2013 à 2019
- Tableau. II.10.** L'évolution de la production du minerai de fer dans le monde arabe
- Tableau. II.11.** La production du minerai de fer en Algérie ($\times 10^3$).
- Tableau. II.12.**Les plus grandes réserves de minerai de fer dans le monde en 2019 (en millions de tonnes)
- Tableau.III.1.** Proportion de quelques éléments alliés
- Tableau.III.2.** Conditions et pourcentages des éléments dans différentes qualités d'aciers.
- Tableau 0.1 :** analyse de tamisage du TV
- Tableau 0.2 :** grosseur relative du produit concassé
- Tableau 0.3 :** Caractéristiques des concasseurs d'après les calculs.
- Tableau 0.4 :** Paramètre de concasseur à mâchoires à double effet CMD 6x 9 et concasseur à cône à concassage intermédiaire CCCI.

Tableau 0.5 : Caractéristique granulométrique du produit N°4

Tableau 0.6 :Caractéristique de grosseur du produit 5.

Tableau 0.7 :Caractéristique granulométrique de grosseur de produit N°8

Tableau 0.8 : Caractéristique granulométrique de produit N°9.

Tableau 0.9 :Les Caractéristiques technique des cribles choisis.

Tableau 0.10 : Caractéristiques technique des broyeurs choisis.

Tableau 0.11 : Caractéristiques de classificateur (Type : 1 CSI20).

Tableau 0.12 :choix d'équipement de concassage et de broyage.

Tableau 0.13: Résultats d'analyse granulométrique

Tableau .IV.14: Résultat de l'échantillon (Fe_2O_3)

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
Chapitre I : Etude géologique du gisement de fer de l'Ouenza	3
Introduction.....	3
I.1. Historique de la mine	
I.1.1.Importance de la Mine	
I.2.Situation géographique	
I.3.Présentation de l'entreprise	
I.3.1.Arcelor Mittal Tébessa	
I.4. Géologie de la région du Djebel l'Ouenza	
I.5. Cadre géologique et lithostratigraphique	
I.5.1. Trias	
I.5.2. Jurassique	
I.5.3. Crétacé	
I.6. Aperçu géologique sur les quartiers de la mine de l'Ouenza	
I.6.1.Quartier Chagoura Nord	
I.6.2.Quartier Chagoura Sud-Pic	
I.6.3.Quartier 6 mai (îlot)	
I.6.4.Quartiers Douamis et Hallatif	
I.6.5.Quartier Zerga	
I.7.Nature de gisement	
I.7.1.Morphologie et structure de gisement	
I.8.Composition chimique du minerai	
I.9.Prospection et état des réserves	
I.9.1.Les réserves géologiques au 31 Décembre 2019	

I.9.2. Les réserves exploitables au 31 Décembre 2019	
I.10. Les oxydes et les hydroxydes de fer	
I.11. Méthode d'exploitation du gisement de fer de l'Ouenza	
I.11.1. Accès d'ouverture du gisement	
I.11.2. Travaux de forage et de tir	
I.11.3. Travaux de chargement et de transport	
I.11.4. Traitement mécanique	
I.12. Préparation mécanique du minerai de fer de l'Ouenza	
Conclusion.....	30
Chapitre II : Généralités sur le minerai de fer	31
Introduction	31
II.1. Définition	32
II.2. Géologie de gisement	32
II.2.1. Quartzites ferrugineux	
II.2.2. Gisements associés	
II.3. Les propriétés du minerai de fer	35
II.3.1. Propriétés physiques et technologiques du minerai	
II.4. Classification des minerais de fer	37
II.4.1. Par rapport à leur teneur en fer	
II.4.2. Les principaux minerais de fer	
II.4.2.1. Les sulfures	
II.4.2.2. Les carbonates	
II.4.2.3. Les oxydes	
II.5. Caractéristiques des différents types des minerais de fer	41

II.5.1. Minerais de fer carbonatés	
II.5.2. Minerais de fer oxydé	
II.5.3. Minerais de fer silicaté	
II.5.4. Minerais de fers sulfurés	
II.6. Caractéristiques du minerai	44
II.7. La composition chimique de minerai de fer	44
II.8. Production de minerai de fer	46
II.8.1. Dans le monde	
II.8.2. La production d'acier entre 1950 et 2016	
II.8.3. Dans le monde arabe	
II.8.4. En Algérie	
II.9. Les ressources minérales en Algérie	50
II.10. Les réserves en minerai de fer	50
II.10.1. Les réserves du minerai de fer au niveau national	
II.10.2. Les réserves en minerai de fer au niveau mondial	
II.11. Le prix du minerai de fer	52
II.12. Utilisation du fer dans le monde	53
II.13. La consommation du minerai de fer	56
II.13.1. Au niveau national	
II.13.1.1. Complexe d'El Hadjar	
II.13.1.2. Complexe Bellara	
Conclusion	57

Chapitre III : Technologie d'enrichissement et agglomération du minerai de fer	58
Introduction	58
III.1.Procèdes d'enrichissement du minerai de fer	58
III.1.1.Séparation magnétique	
III.1.2.Séparation électrostatique	
III.1.3.Séparation gravimétrique	
III.1.4.Séparation par flottation	
III.2.Traitement de minerai de fer	60
III.2.1. Libération et classement	
III.2.2.Valorisation de différents types de minerai de fer	
III.2.2.1. Valorisation des minerais hématite brune	
III.2.2.2.Valorisation des minerais de fer des quartzites oxydés	
III.2.2.3.Valorisation du minerai de magnétite	
III.3.Exemple de schémas de traitement de minerai de fer	65
III.4.Métallurgie de minerai de fer	66
III.4.1. Grillage	
III.4.1.1.Principe du grillage	
III.5.L'influence des éléments nuisibles composante le minerai de fer sur la fabrication d'acier	67
III.5.1.Approche sur les éléments nuisibles et ces effets	

Conclusion.....	71
Chapitre IV: Schémas proposé pour l'enrichissement du minerai de fer pauvre	72
IV.1.Schémas de préparation mécanique	72
IV.2.Calcul du schéma de concassage et de broyage et choix des équipements ..	73
IV.2.1.Données de départ	
IV.2.2.Elaboration du schéma de préparation mécanique	
IV.2.3.Calcul final du schéma de concassage et choix des équipements	
IV.2.4.Choix final de concasseur du premier étage	
IV.2.5.Calcul de l'opération du criblage	
IV.2.6. Calcul du schéma de l'atelier du broyage et choix des équipements	
IV.2.7.Calcul de classificateurs	
IV.2.8.Mise en règle du calcul	
IV.3. Echantillonnage	93
IV.3.1.Prélèvement des échantillons	
IV.3.2.Préparations des échantillons	
IV.3.3.Quartage	
IV.4.Analyse granulométrique	95
IV.4.1.Description de l'essai	
IV.5.Technique d'analyse utilisée	97
IV.5.1.L'analyse spectrale par voie sèche	

IV.5.1.1. Analyse par fluorescence	
IV.5.1.2. Procédés de déroulement de l'analyse	
IV.5.2. Analyse volumétrique (voie humide)	
IV.5.2.1. Titrage volumétrique du fer total	
IV.6. Microscope électronique à Balayage (MEB)	100
IV.7. Schéma de traitement	102
IV.7.1. Donnée de départ	
IV.7.2. Calcul des rendements	
IV.7.3. Calcul des teneurs en Fe_2O_3	
IV.7.4. Calcul des débits	
IV.7.5. Calcul des poids de fer dans chaque produit	
IV.7.6. Calcul de degré d'extraction	
IV.8.1. Détermination de nombre d'indice de départ nécessaire et suffisants...	106
IV.8.2. Détermination de nombre d'indice de départ se rapportant aux produits de traitement	
IV.8.3. Calcul de nombre d'extraction	
IV.8.4. Calcul de nombre d'indice de teneur	
IV.8.5. Détermination des teneurs et rendements des produits	
IV.8.6. Calcul de la productivité de chaque produit	
IV.8.7. Calcul des poids de fer dans chaque produit	
IV.8.8. Calcul de degré d'extraction	

Conclusion	112
Chapitre V: Procédés d'agglomérations.....	113
Introduction	113
V.1.Procédés d'agglomération.....	113
V.2.Agglomération sur grille (par frittage)	114
V.2.1.But de l'agglomération sur grille	114
V.2.2.Principe	115
V.2.3.Défférents étapes de l'agglomération sur grille (par frittage)	115
V.2.3.1.Dossage	
V.2.3.2.Nodulisation	
V.2.3.3.Chargement	
V.2.3.4.Allumage	
V.2.3.5.Frittage	
V.2.3.6.Conditionnement	
Conclusion	124
Conclusion générale	125

Introduction Générale

Le gisement d'El-Ouenza est à la fois le plus riche et le plus important gisement de fer en exploitation en Algérie. Il est parmi les richesses naturelles les plus importantes dans notre pays. Proche de la frontière tunisienne, ce gisement est situé à 120 km au Sud Est de Annaba et à 80 km au nord de Tébessa. 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, viennent de la mine de l'Ouenza. Donc il joue un rôle très important dans l'économie nationale. Les principaux constituants du minerai sont :

- ▶ Pour les minéraux de fer, Hématite, goethite.
- ▶ Pour les minéraux de gangue : Quartz, calcite, dolomite.

Suite à la composition chimique du minerai de fer pauvre de l'Ouenza il est remarquable que l'Hématite Fe_2O_3 varie entre 35 et 40 % avec une présence de La chaux Cao, silice SiO_2 , alumine Al_2O_3 , magnésium Mg et le manganèse Mn.

il est nécessaire de traiter le minerai pauvre en fer en élaborant un schéma de traitement combiné et obtenir un concentré de bonne qualité afin qu'il sera utilisé en sidérurgie

La teneur en Fe_2O_3 dans le minerai pauvre peut atteindre jusqu'à 40 % ce qui constitue une alimentation pour un éventuel traitement.

Le but principal de notre travail est d'arriver à élaborer un nouveau schéma de traitement du minerai le minerai pauvre en fer de l'Ouenza, qui permettra d'obtenir un concentré de très bonne qualité riche en Fe_2O qui sera utilisé dans l'industrie sidérurgique avec une agglomération pour préparer le minerai à être utilisé dans le haut fourneau .

Pour atteindre ce but, le choix de la méthode de traitement sera porté sur un schéma combiné utilisant dans un premier temps la séparation magnétique suivie de la flottation. Plusieurs étapes seront étudiées avant d'arriver à un concentré qui répond aux normes et aux exigences qualitatives de la sidérurgie. Ces étapes sont:

- Analyse et étude du minerai de fer pauvre;
- Elaboration d'un nouveau schéma technologique d'enrichissement du minerai de fer ;

Introduction Générale

Afin d'atteindre ces objectifs, ce mémoire est structuré en cinq chapitres :

- Le premier chapitre a été consacré à une étude géologique du minerai de fer pauvre de l'Ouenza et sa situation géographique;
- Le deuxième chapitre concerne une étude généralité sur le minerai de fer;
- Le troisième chapitre présente un aperçu sur la technologie d'enrichissement du minerai de fer dans le monde;
- Le quatrième chapitre porte sur le calcul du schéma proposé pour le minerai de fer;
- Le cinquième chapitre concerne le procédé d'agglomération .

Problématique :

le minerai de fer pauvre de l'Ouenza en grande quantité a une teneur en hématite qui varie entre 35 et 40% .Cette dernière est très limitée sur le plan qualitatif et reste insuffisante pour que ce minerai de fer soit utilisé dans le haut fourneau pour obtenir de l'acier. Le fer qu'on utilise comme matière première dans la sidérurgie doit avoir une teneur en hématite supérieure ou égale à 50%.

Ce travail vise l'enrichissement du minerai de fer pauvre de l'Ouenza un schéma technologique qualitatif quantitatif utilisant des méthodes de séparation donnant de très bons résultats. Le choix du schéma est porté sur une combinaison de la méthode de séparation magnétique avec un grillage suivi d'une flottation directe. Ce schéma de traitement est composé par une préparation mécanique qui a pour rôle de réduire la dimension des particules et arriver à une certaine libération des minéraux par deux stades de concassage et un étage de broyage. La deuxième étape est composée par un schéma de traitement combiné (séparation magnétique, grillage et flottation) .Par ce schéma technologique rationnel, on arrive à obtenir un concentré se fer de bonne qualité d'une teneur de 50% à partir d'un minerai de fer pauvre titrant une bteneur en hématite de 30%..

Introduction :

Le gisement d'El-Ouenza est à la fois le plus riche et le plus important gisement de fer en exploitation en Algérie, il fut découvert en 1878, son exploitation remonte en 1921. Proche de la frontière tunisienne, ce gisement est situé à 120 km au Sud Est de Annaba et à 80 km au nord de Tébessa. Cette dernière est caractérisée par des gites géologiques bien définie l'exploitation des réserves se fait à ciel ouvert pour atteindre une production importante de matière première allant jusqu'à deux millions de tonne par an.

I.1. Historique de la mine

Depuis l'époque romaine comme le témoignent les vestiges existants (puits et galerie) au niveau des quartiers, DOUAMIS et HALLATIF, cette exploitation concernait le cuivre. C'est vers 1875 que le gisement de fer de l'Ouenza entra dans l'histoire minière, en effet en 1875 l'ingénieur des mines TISSOT signale l'importance des affalements de minerais de fer de l'Ouenza.

- En 1878, le premier permis de recherche de fer.
- En 1913, constitution de la société de l'Ouenza.
- En 1921, début de l'exploitation.
- En 1966, nationalisation des mines.
- En 1983, (le 16/07/83) restructuration de la SONAREM et création de l'entreprise FERPHOS (décret n° :83.441).
- En 2001, (octobre 2001) le retour des étrangers sous le nom : (ISPAT Tébessa).
- En 2005, (janvier 2005) changement le nom de l'entreprise a (Mittal Steel Tébessa), société d'extraction et préparation du minerai de fer au capital social de 613.140.000 DA.
- En 2006, un partenariat s'effectue entre les deux entreprises ARCELOR et MITTAL sous le nom du "ARCELOR-MITTAL".

I.1.1.Importance de la Mine

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. [1]

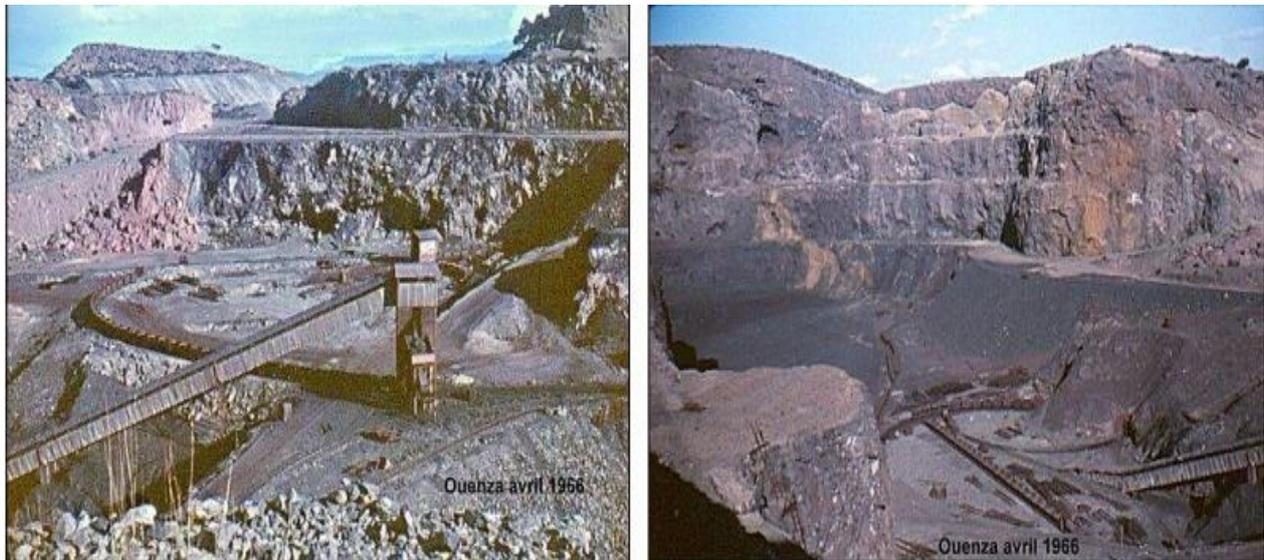


Fig. I.1.mine de l'Ouenza en avril 1966[1]

I.2.Situation géographique

La région de l'Ouenza se trouve à 150 km au Sud-Est d'Annaba et à 80 km Au Nord de Tébessa elle est reliée à Annaba par une voie ferroviaire par laquelle s'achemine toute la production de l'unité Ouenza. Le Djebel de l'Ouenza fait partie des zones diapiriques de la région de l'Atlas Saharien oriental. Il est situé dans la région de mont de Mellegue en formant un anticlinal orienté Nord-Est, Sud-Ouest, Suite à la structure et la nature des roches, le gisement est divisé en sept (7) gîtes « Quartiers » principaux dont : Chagoura sud, pic, Chagoura nord, Saint-Barbe , Conglomérat, Hallatif, Douamis et Zerga . [2]

Le gisement de fer repose sur le flan nord-est d'un massif montagneux dont la plus haute attitude est de 1288 mètres au niveau du pic les dimensions de ce gisement sont de 12 km environ de long et 5 km de large



Fig. I.2. Situation géographique du gisement de l'Ouenza

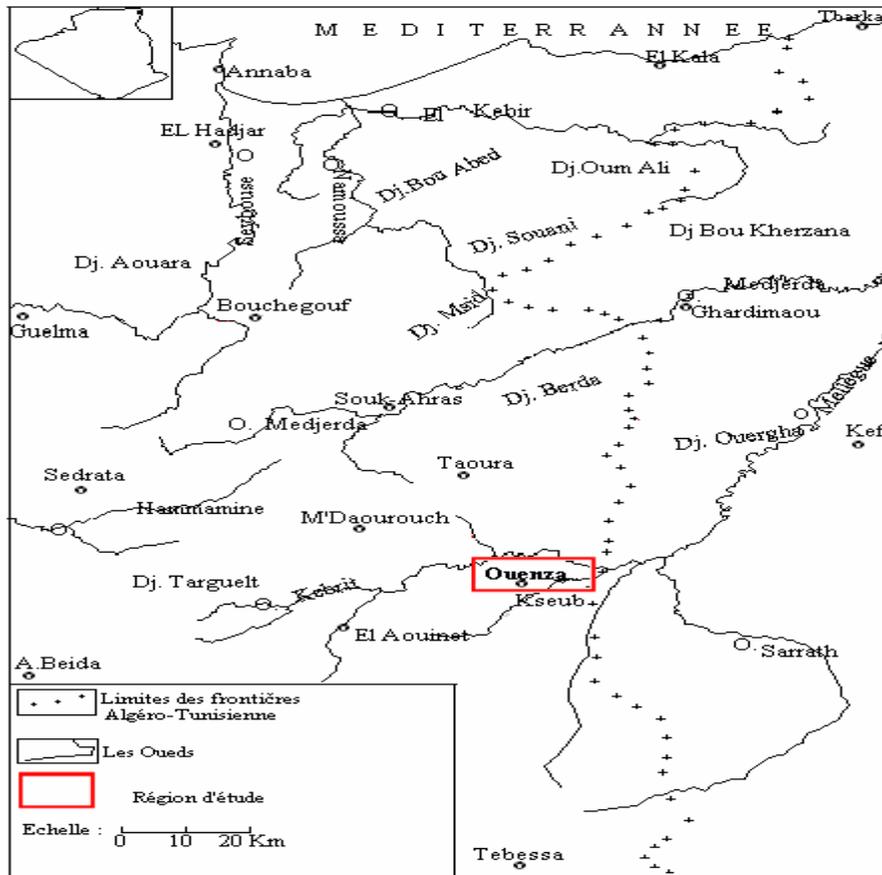


Fig. I.3. Localisation de la région d'étude

I.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.

I.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 avenir à 3 millions tonnes.

Arcelor Mittal Tébessa est le principal fournisseur du complexe sidérurgique d'El-Hadjar (Arcelor Mittal Annaba) en minerai de fer, composées de deux mines : la mine de l'Ouenza et Boukhara.[3]

I.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.

- **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.

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]

- **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.

- **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).[2]

I.5. Cadre géologique et litho-stratigraphique

I.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 ». 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).

I.5.2. Jurassique

Les dépôts du Jurassique n'ont pas été observés jusqu'à présent dans la région de l'Ouenza. Toute fois G. Dubourdiou(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.

I.5.3. Crétacé

- **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'a Messloula (Dubourdiou, 1959 ; Masse et Thieuloy, 1979).

À l'Ouenza les formations barrémiennes sont absentes à l'affleurement.

- **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 Milioles et Rudiste 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).

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). [2]

I.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 :

I.6.1. Quartier Chagoura Nord

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.

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.

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.

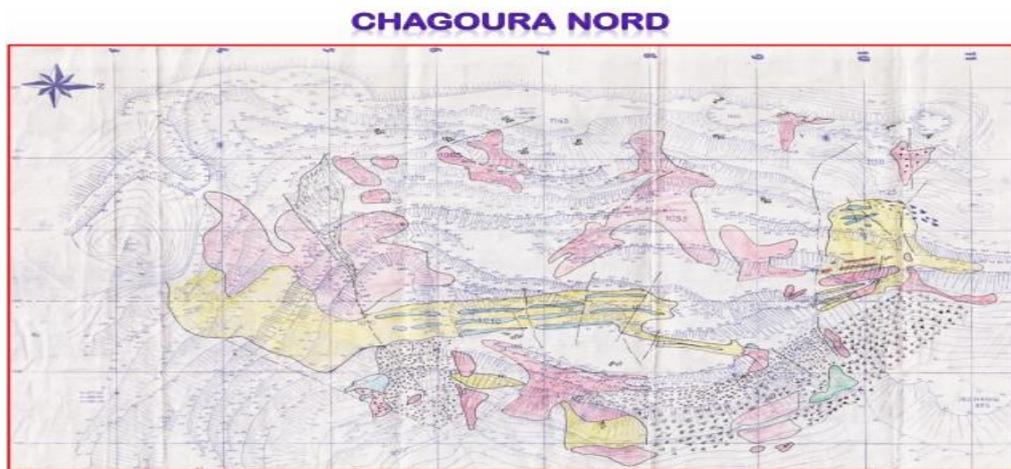


Fig. I.4. Carte géologique du Quartier Chagoura Nord. [2]

I.6.2. Quartier Chagoura Sud-Pic

Les corps minéralisés sont localisés au sein des calcaires récifaux aptiens, en particulier au voisinage des grosses fractures (G. DUBOURDIEU) auxquelles est attribué le rôle de structure productive.

D'après les résultats de l'interprétation géologique des coupes verticales transversales et les observations de terrain, les corps sont disposés en général sous forme de lentilles irrégulières sub-concordantes à la stratification. Parfois, sur les coupes verticales et les plans de niveaux élaborés, les corps miniers se présentent sous forme de nids ou corps tubulaires ramifiés et irréguliers.

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 .

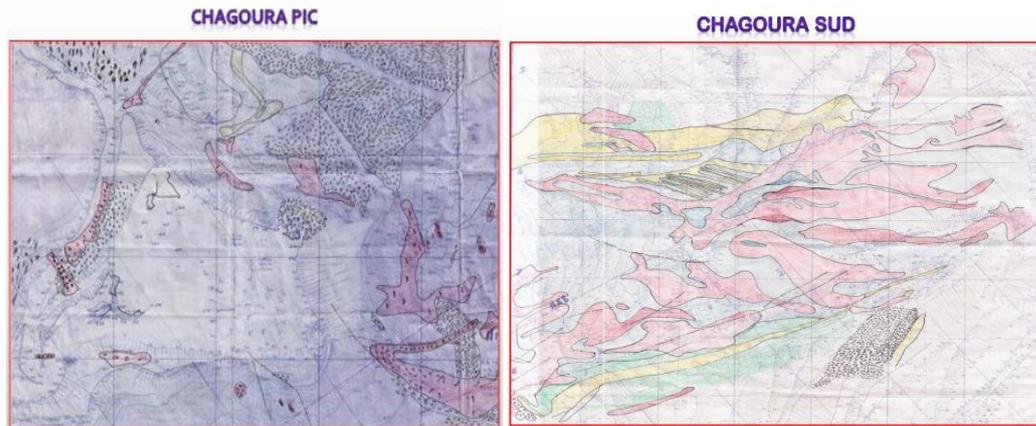


Fig. I.5. Carte Géologique du quartiers Chagoura Pic-Sud [2]

I.6.3. Quartier 6 mai (îlot)

En se basant sur les résultats des expertises géologiques faites par le Bureau d'étude de la mine, concernant le quartier 6 Mai (Sainte Barbe et conglomérat), quatre (04) corps minéralisés ont été mis en évidence.

Le minerai caractérisant le gisement du 6 Mai est de type Hématite-Limonite. Il est développé à partir de la surface jusqu'au niveau 552 m.

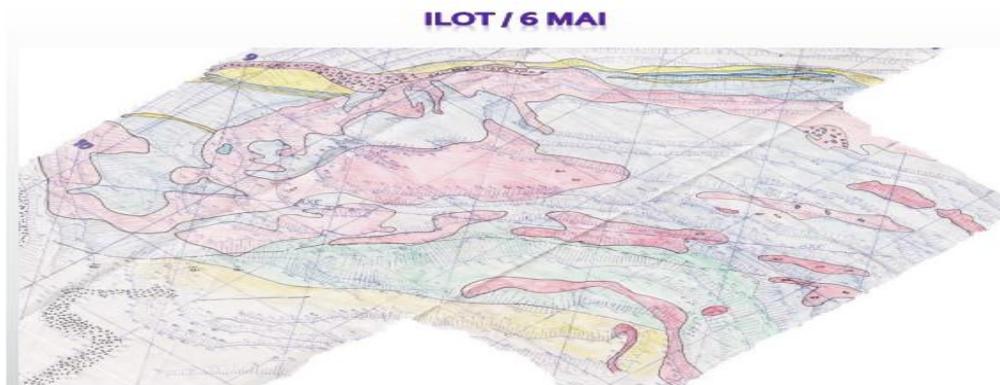


Fig. I.6. Carte géologique du Quartier Sainte Barbe (Ilot).[2]

I.6.4. Quartiers Douamis et Hallatif

La minéralisation caractérisant les deux gisements est de type essentiellement hématitique, rarement limonitique. L'interprétation des données géologiques existante, a permis de mettre en évidence dans ces deux corps minéralisés localisés au sud et au nord de l'axe du gisement. L'allure générale des corps miniers de Douamis est très régulière et homogène.

La teneur moyenne en fer, contrairement aux autres quartiers est supérieure à 45% (riche).

Le gisement de Douamis se distingue des autres quartiers par la présence de minéraux de cuivre sulfureux (Chalcopyrite, Tétrahédrite...) et les carbonates de cuivre hydratés (Malachite et Azurite).

Pour ce qui est du quartier Hallatif, qui a une liaison directe avec les corps miniers de Douamis, plus de 80% des réserves sont déjà épuisées ce qui reste n'est que les dernières racines des corps principaux. La teneur moyenne en fer dans ce quartier « Hallatif » est quasi identique à celle de Douamis. Notons qu'au niveau de ce gisement existe de la baryte sous forme de filonnet.

I.6.5. Quartier Zerga

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.

Pendant l'exploitation des affaissements ont été observés. L'affaissement le plus important s'est produit à la fin de 1978 dans la partie centrale du quartier, après quoi ce quartier s'est vu presque hors exploitation pendant une longue période. [2]

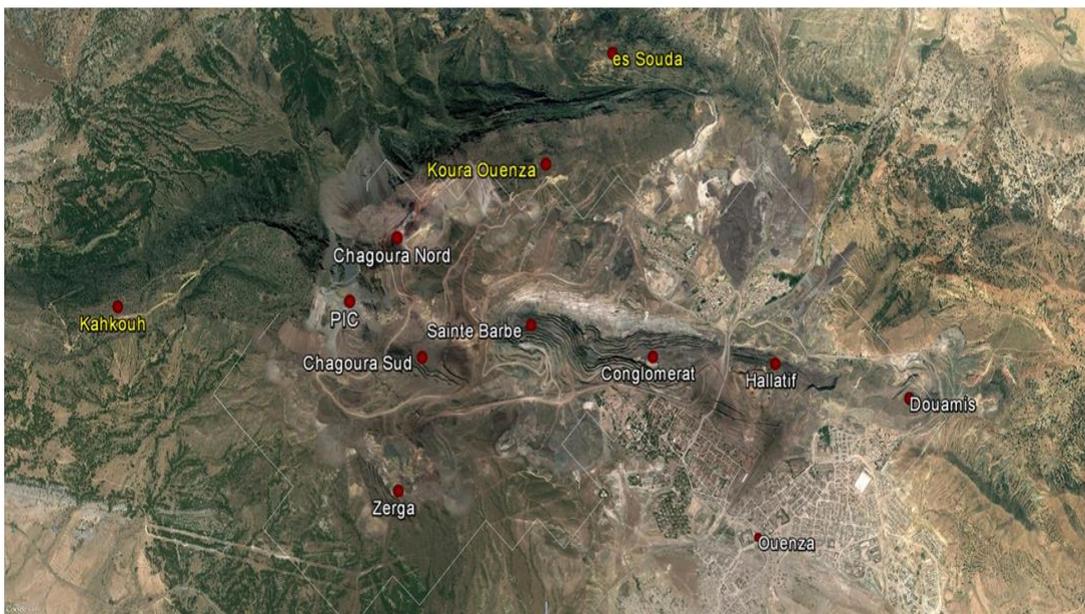


Fig. I.7 .Gisements de fer de l'Ouenza

I.7. Nature de gisement

Le gisement fer de l'Ouenza est composé d'un minerai de type hématite actuellement en exploitation, mais il est a noté la présence d'un minerai de fer

carbonaté la sidérite qui n'est pas encore mis en exploitation à ciel ouvert, par conséquent un avant-projet de sa mise en exploitation par la méthode souterraine a été établi.

I.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.[4]

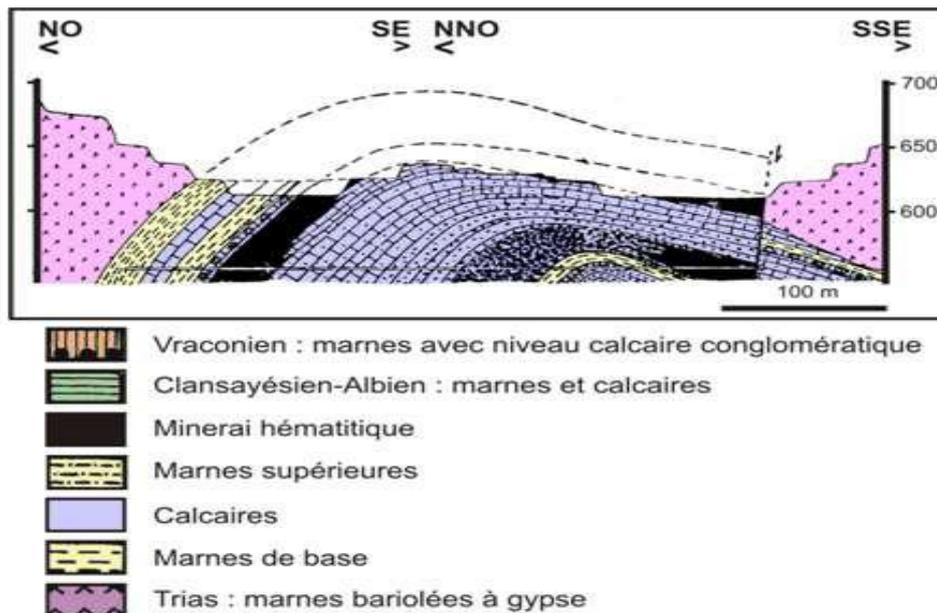


Fig. I.8. Coupe dans la structure anticlinale du gisement de l'Ouenza.[4]

I.8. Composition chimique du minerai

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

Éléments	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. I.1 .Composition chimique moyenne du minerai de l'Ouenza. [4]

Suite à la composition chimique du minerai de fer d'Ouenza il est remarquable que l'oxyde de l'Hématite Fe_2O_3 soit dominant (49.8 %) avec une présence d'un teneur peu importante de La chaux (CaO) et silice (SiO_2). Il contient des teneurs très faibles 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.

I.9.Prospection et état des réserves

Les travaux de prospection effectués par la mine de l'Ouenza s'étalent sur une période de 50ans ; en plusieurs campagnes avec des moyens et approches différentes ; ce qui a permis de délimiter la minimalisation ferrifère et dévaluer son importance.

Le gisement de l'Ouenza a été prospecté essentiellement par des ouvrages miniers et sondages (Verticaux, inclinés et horizontaux) selon un réseau de maille variât d'un gîte à l'outre ; allant de (50x50m) et peut être resserre jusqu'au (25x25m) et encore moins dans certains gîtes.

Le volume des travaux réalisés ; a permis d'évaluer les différents sites potentiels de la mine qui sont en phase d'exploitation ; et de délimiter la minéralisation pour les sites vierges aux abords immédiat de la mine tel que : Kahkouh et Souda.

Les résultats des travaux de prospection a permis d'évaluer les réserves géologiques et exploitables

I.9.1.Les réserves géologiques au 31 Décembre 2019

Quartiers	Quantité (tonnes)	Fe (%)
Chagoura sud-pic	19661051	49,8
Chagoura Nord	20296062	48,8

Sainte Barbe	128231168	47,7
Conglomérat	6011290	47,4
Hallatif	4931028	51,0
Douamis	11327458	53,0
Zerga	3196457	42,7
TOTAL	78246514	49,3

Tableau. I.2. Réserves géologiques du Gisement de l'Ouenza. [2]

I.9.2. Les réserves exploitables au 31 Décembre 2019

Quartiers	Minerai (tonnes)	Fe (%)	Stérile (tonnes)	TD
Chagoura pic	6637049	53.5	26482796	4
Chagoura sud	3350138	48	7367836	2.2
Chagoura Nord	9743806	49.5	19079969	2
Sainte Barbe	4602653	48.4	19185288	4.2
Conglomérat	376686	46.6	1779731	4.7
Douamis	8425289	53.9	42070918	5.0
Zerga	2350266	42.7	2862127	1.2
TOTAL	35485887	50.5	118828665	3.3

Tableau. I.3. Réserves exploitables du Gisement de l'Ouenza. [2]

I.10. Les oxydes et les hydroxydes de fer

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

- **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.

- **l'hématite (Fe₂O₃)**

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

- **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.

Au oxydes et hydroxydes de fer s'ajoutent des sulfures, représentés essentiellement, par la pyrite (FeS₂) et des carbonates de cuivre, représentés essentiellement par la Malachite [Cu₂(OH)₃CO₃] et l'Azurite [Cu₃(CO₃)₂(OH)₂]



Minerais de fer à Limonite



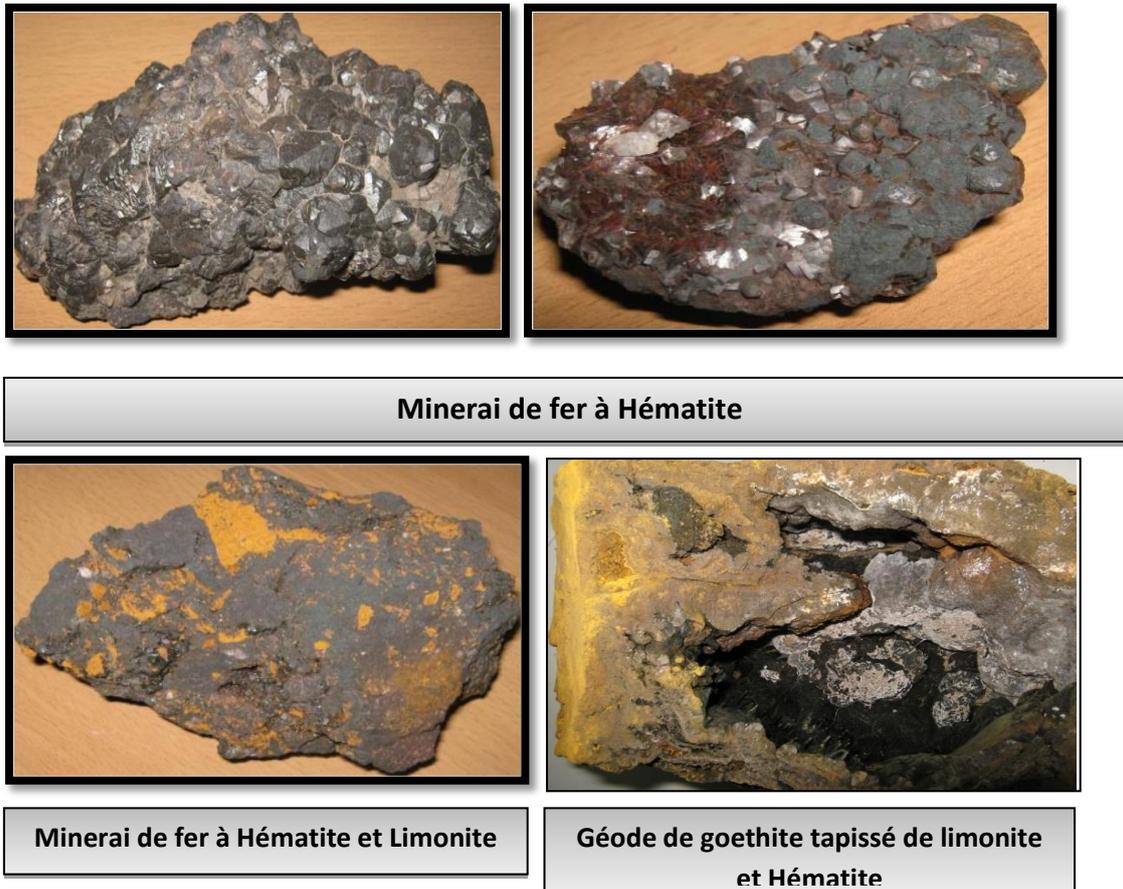


Fig. I.9. Collection de Roches & Minéraux: Oxyde et Hydroxyde - mine de l'Ouenza [1]

I.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. [2]

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

I.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.

A. La découverte

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

B. 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.

C. 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 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°.[5]

I.11.2. Travaux de forage et de tir

A. Abattage

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

- type de roches, et leur état naturel;
- les propriétés physico – 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.

B .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.

C. 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.

C.1. Sondage (Forage)

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

Ces sondages sont placés selon une maille sur des profiles perpendiculaire à la direction des corps minéralisé, sont de nature destructif réalisé à l'aide d'une sondeuse à circulation inverse (RC), [5]



Fig. I.10.La sondeuse INGERSOLL-R(T4BH900HR4) en travail de mine de l'Ouenza. [5]

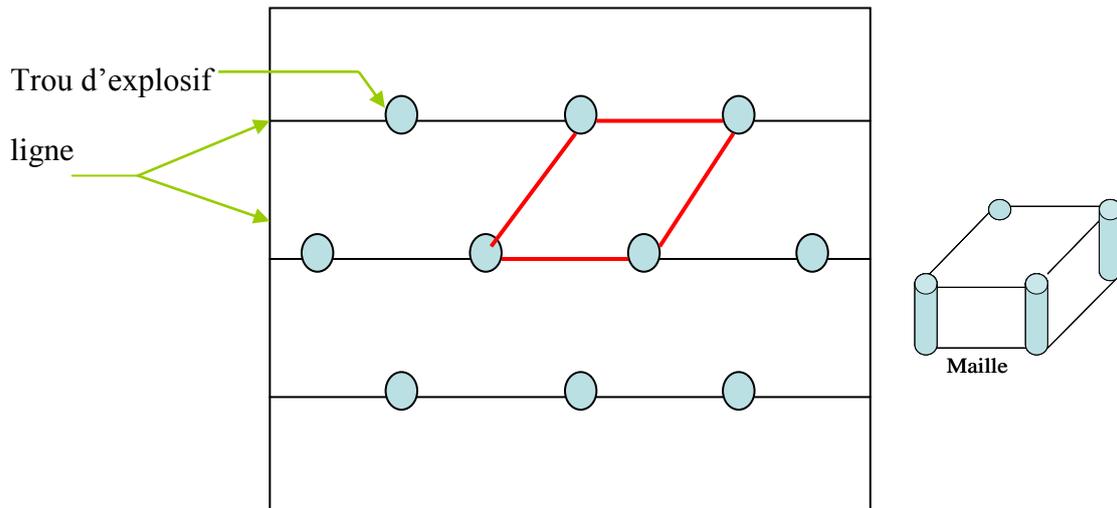
C.2. Le tir:

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.

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. 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.

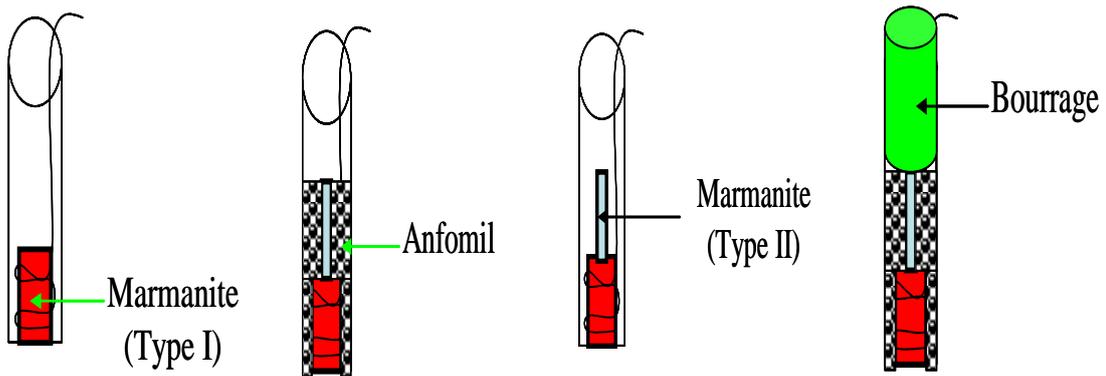


Fig. I.11. Schéma des trous de la mine de l'Ouenza

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.



Fig. I.12.Le tir de la mine de l'Ouenza

I.11.3. Travaux de chargement et de transport

A. Travaux de chargement

Le choix des moyens de chargement dépend des facteurs suivants :

- Nature de matériaux
- Productivité planifiée
- Mode d'exploitation
- Hauteur du gradin [2]

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.



Fig. I.13. camion CATERPILLAR type775F

B. 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.



Fig. I.14. la chargeuse CATERPILLAR TYPE988 H

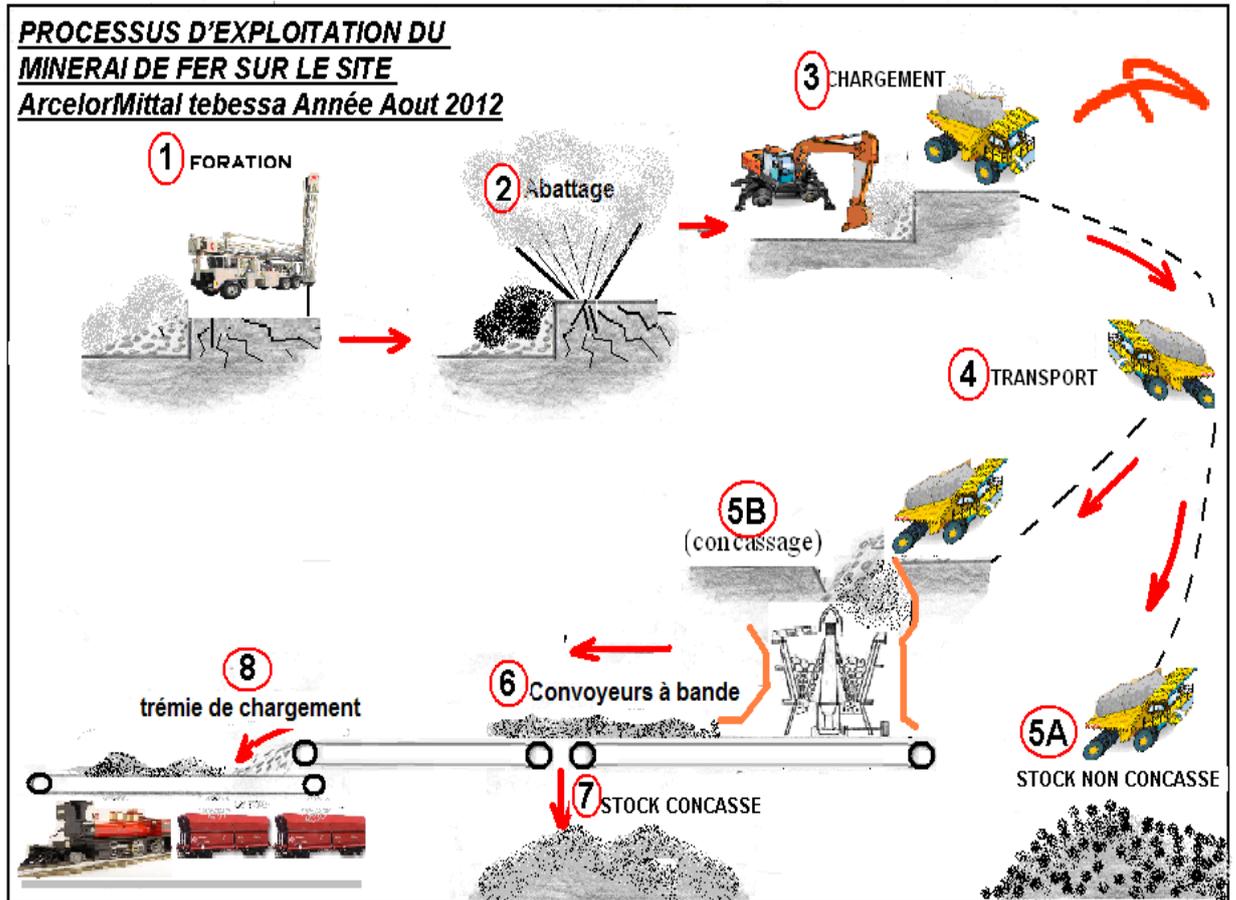


Fig. I.15. Processus d'exploitation de minerai de fer dans la mine de l'Ouenza.[2]

I.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 située au niveau (660m) près de la gare d'expédition.[5]

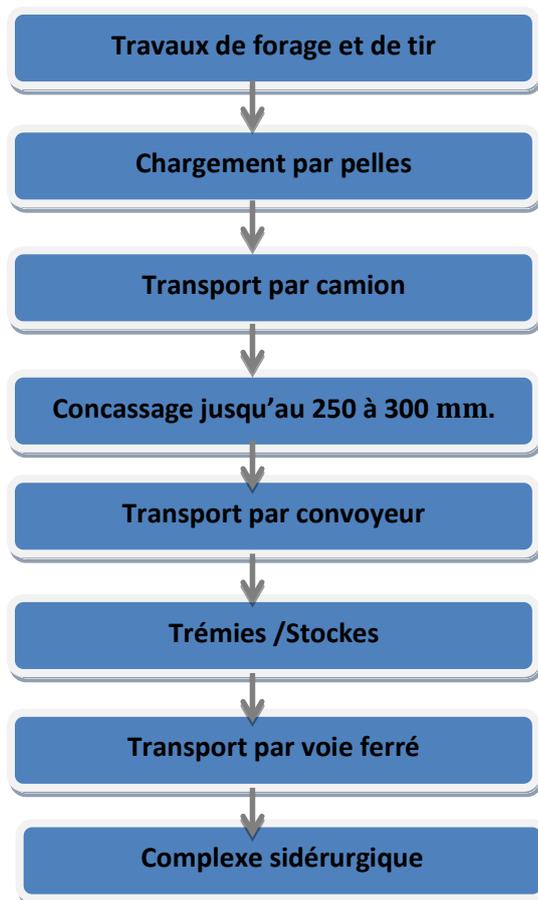


Fig. I.16. Schéma technologique d'extraction et de préparation du minerai de fer de l'Ouenza. [5]

I.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 broyage par un broyeur à boulets de type laboratoire. (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.

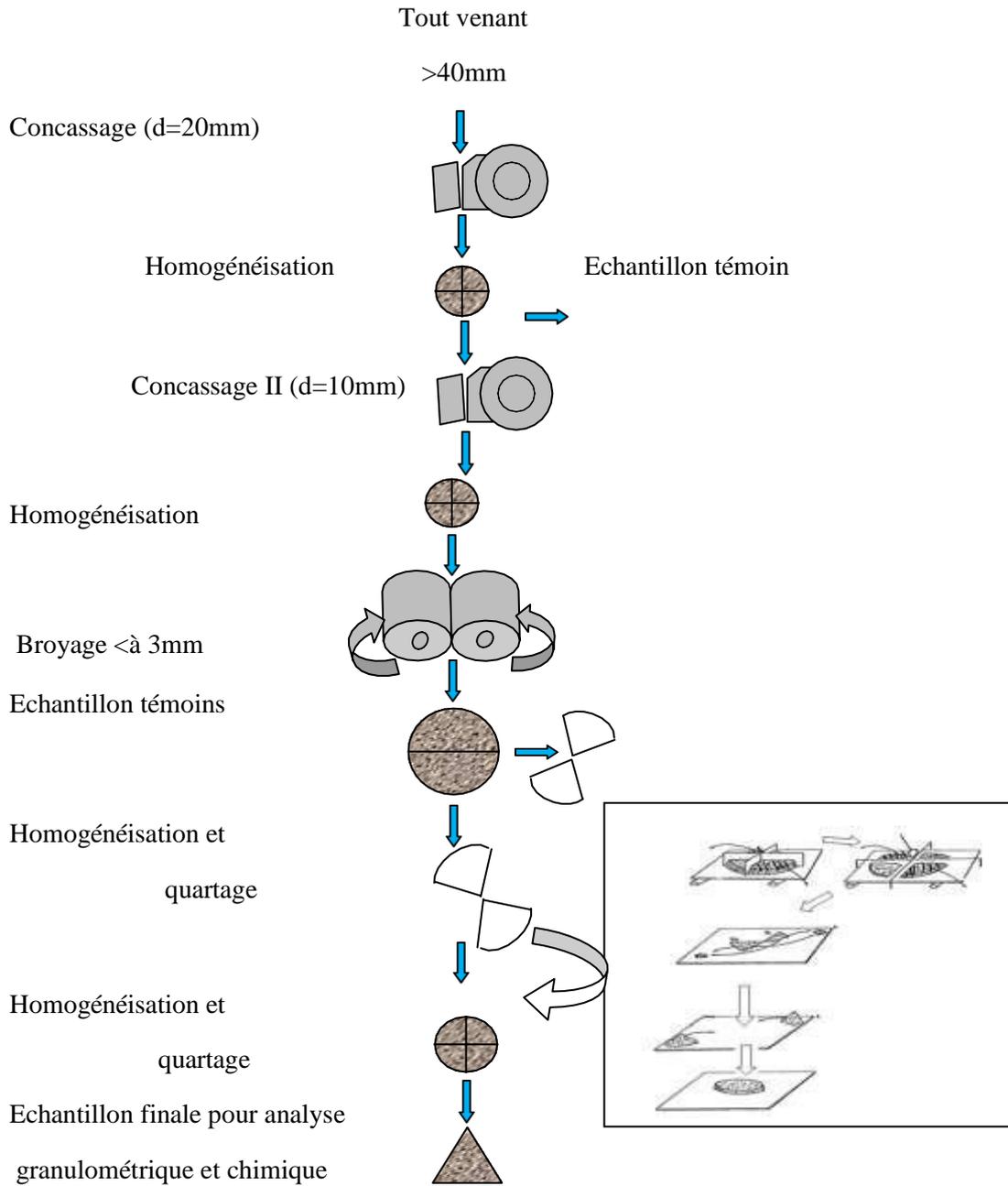


Fig. I.17. Schéma de préparation mécanique des échantillons pour analyse granulométrique et chimique

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.

Introduction

Le minerai de fer est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes, comme l'hématite. Les minerais de fer ont une teneur en fer variable selon le minéral ferrifère.

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

La majeure partie du fer dans la croûte est combinée avec l'oxygène, formant des minerais d'oxyde de fer, tels que l'hématite (Fe_2O_3), la magnétite (Fe_3O_4) et la limonite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). L'oxyde magnétique ou *magnétite* Fe_3O_4 est connu depuis l'Antiquité grecque. Il tire son nom du mont *Magnetos* (le grand mont), une montagne grecque particulièrement riche en ce minéral.

Environ une météorite sur vingt comprend de la taénite, unique alliage de minéral de fer-nickel (fer 35-80 %), et de la kamacite (fer 90-95 %). Bien que rares, les météorites de fer sont la forme principale de fer natif (métallique) sur la surface terrestre.

II.1. Définition

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

En général, le minerai le plus riche en fer est le plus rentable. Lorsque sa teneur est supérieure à 54 %, il est considéré comme riche et ne nécessite aucune valorisation à part son calibrage. Lorsqu'elle est inférieure à 54 %, il est considéré comme pauvre et doit être valorisé pour en permettre la commercialisation. Il existe deux calibres de minerai de fer à forte teneur. Le premier est le minerai d'une granulométrie supérieure à 8 mm, qui est appelé minerai en morceaux, et le second, celui d'une granulométrie inférieure à 8 mm, qui est appelé minerai fin. [6]

II.2. Géologie de gisement

Le fer s'est concentré en gisements, à de nombreuses époques géologiques, en de multiples endroits de la croûte terrestre et dans des conditions génétiques variées. Une des classifications géologiques les plus complètes est celle qui est basée sur la notion de type telle que l'a proposée F. Blondel en 1955 et que l'a développée P. Routhier en 1963. Elle ne distingue pas moins de quinze types de gisements et un certain nombre de sous-types. Tous les types répertoriés n'ont évidemment pas la même importance sur le plan économique. Seuls ceux qui correspondent aux minerais le plus fréquemment utilisés par la sidérurgie sont brièvement décrits dans les paragraphes suivants.

II.2.1. Quartzites ferrugineux

Généralement rubanés, ce sont, à l'origine, d'énormes dépôts de quartzites ferrifères dont les seuls éléments sont pratiquement la silice et les oxydes de fer. Ces dépôts sont tous riches en silice libre. Leur texture originelle est extrêmement fine (*jaspillites*), recristallisée le plus souvent en une mosaïque quartzreuse donnant

des quartzites finement lités, à oligiste, à magnétite ou à martite . Les grains de quartz et d'oxydes de fer ont des dimensions variant de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres suivant l'importance du métamorphisme qu'ils ont subi.

Ces formations apparaissent dans tous les vieux socles précambriens du monde : Amérique du Nord, Brésil, Venezuela, Afrique, Scandinavie, Russie, Ukraine, Inde, Australie, et portent divers noms consacrés par les usages locaux (*itabirite, iron formation, taconite, banded hematite, quartzite, jaspillite, etc.*). Leur origine sédimentaire par précipitation chimique est très généralement admise.

D'après une hypothèse formulée plus récemment, le dépôt pendant le Précambrien de quantités considérables de quartzites ferrugineux serait étroitement lié au développement de la vie dans les océans , à une époque où l'atmosphère était composée d'azote et de gaz carbonique, mais dépourvue d'oxygène, et où les eaux, rendues acides par ce gaz carbonique, pouvaient dissoudre de grandes quantités de fer à l'état de fer ferreux. La formation de ces quartzites limitait la pression de l'oxygène à un faible niveau par fixation de tout l'oxygène produit par photosynthèse ; ce n'est que lorsque le fer fut entièrement précipité que l'oxygène put s'accumuler dans l'atmosphère, permettant l'apparition de nouvelles formes de vie.

Ces dépôts très anciens ont été soumis à un métamorphisme plus ou moins intense, et parfois ont été fortement plissés, ce qui a favorisé leur évolution ultérieure et la formation des minerais riches à hématite. Sous leurs formes les moins altérées, les quartzites ferrugineux ont des teneurs en fer variant entre 25 et 45 %, qui rendent indispensable leur enrichissement, la finesse des grains conduisant à agglomérer en boulettes une grande partie ou la totalité de la production. Les premiers quartzites ferrugineux exploités ont été ceux du Lac Supérieur (États-Unis). Puis ont été mis en exploitation les gisements du Québec-Labrador, du bassin de Krivoï Rog, du bassin de Suède Centrale et du Liberia (Bong).

II.2.2. Gisements associés

La plupart des grands gisements de minerais riches à hématite se sont formés aux dépens des quartzites ferrugineux, par lessivage de la silice dans des conditions géologiques et géographiques particulières et encore mal élucidées avec, dans certains cas, remise en mouvement d'une partie du fer en dissolution.

Malgré leur origine semblable, les gisements de minerais riches à hématite présentent entre eux des différences importantes, liées au dépôt originel, aux influences métamorphiques et tectoniques (plissements) qu'ils ont pu subir et aux conditions particulières de leur altération.

Le minerai est de dureté variable : parfois franchement rocheux, souvent en plaquettes friables et poreuses qui sont les vestiges du litage du quartzite originel (minerai en plaquettes, biscuit), parfois encore plus friable, poudreux, fin à très fin (*blue dust* de certains gisements brésiliens). Ils constituent de grandes masses à teneur en fer très élevée (65 % environ), de composition chimique simple avec surtout Fe_2O_3 et parfois un peu de magnétite résiduelle dans la martite, de la silice, de petites quantités d'alumine (1 à 2 %, localement plus), rarement plus de 0,1 % de phosphore et souvent beaucoup moins. Les minerais riches à hématite sont associés à la plupart des formations de quartzites ferrifères (Canada, États-Unis, Venezuela, Brésil, Inde, Mauritanie, Australie, etc.). Ils constituent souvent des amas de plusieurs centaines de millions de tonnes et sont exploités dans de très grandes mines à ciel ouvert.

II.2.2.1. Minerais de ségrégation dans les roches acides

Ces minerais sont importants par leur teneur en fer élevée, la taille importante des gisements qu'ils constituent et le rôle qu'ils jouent dans l'approvisionnement des sidérurgies du nord de l'Europe : c'est en effet à ce type que se rattachent les gisements de Laponie suédoise. Ils sont tous associés à des laves acides et comprennent toujours de la magnétite, de l'oligiste (martite) et de l'apatite. Les teneurs en fer varient entre 50 et 71 %, avec 0,8 à 2 % de phosphore. Les alcalins sont relativement abondants, le titane et le vanadium sont fréquents. Leur nom vient de l'interprétation que les géologues ont donné pendant longtemps de leur origine : il était admis que la minéralisation dérivait du même magma que les porphyres dont elle

s'était différenciée en profondeur (d'où le terme de ségrégation). Les géologues suédois ont pu démontrer que les gisements de Laponie sont en réalité issus de formations sédimentaires d'origine chimique, consécutives à une activité volcanique sous-marine intense qui a engendré la roche encaissante.

II.2.2.2. Minerais oolithiques

Les minerais de fer oolithiques sont très répandus mais pratiquement plus exploités ; ils ont constitué la base des approvisionnements de plusieurs sidérurgies européennes et, en particulier, de la sidérurgie française. Les gisements se sont formés pendant les ères primaire et secondaire. Ce sont tous des gisements sédimentaires marins, caractérisés par une texture oolithique : les oolithes sont des grains ovoïdes concrétionnés formés de couches concentriques, leurs dimensions varient de 80 µm à 2 mm environ. Sur le plan minéralogique, ces minerais sont caractérisés par une grande variété de constituants : limonite, hématite rouge, oligiste, chlorites, magnétite, sidérose, pyrite, quartz et calcite, dont les proportions peuvent varier d'un gisement à l'autre mais aussi à l'intérieur d'un même gisement.

La composition chimique reflète évidemment ces variations : les éléments les plus importants sont le fer, sous forme d'oxydes, d'hydroxydes, de carbonates et de silicates, la silice et la chaux, qui permettent d'établir la distinction entre minerais siliceux et minerais calcaires, l'alumine et le phosphore toujours présent, soit sous forme d'apatite ou dispersé dans d'autres minéraux. On distingue plusieurs types en fonction des minéraux dominants. Les minerais lorrains, les minerais de Normandie, les minerais d'Anjou furent les principaux gisements exploités en France.

II.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 l'oxygène présent dans l'air. Cette réaction a lieu en présence d'air humide

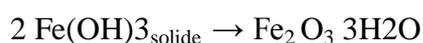
transformant le métal en oxyde de fer (III), la rouille Fe_2O_3 . Le mécanisme peut être décrit par les équations redox suivantes :



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



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



La présence d'eau est indispensable pour amorcer la corrosion, milieu dans lequel se dissolvent les ions $\text{Fe}(\text{II})$ formés au cours de la réaction. Ainsi, l'eau contenant les sels de $\text{Fe}(\text{II})$ 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 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 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 $\text{Fe}(\text{II})$ hydraté et de l'hydrogène dissous. En présence d'oxygène, l'ion $\text{Fe}(\text{II})$ est oxydé en ion $\text{Fe}(\text{III})$. L'acide nitrique concentré réagit en surface avec le fer, ce qui rend le fer passif. [7]

II.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 demi dures et de moyenne dureté.

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

D'après la méthode de protodia konov, la valeur moyenne du coefficient de dureté du minerai de fer de l'Ouenza est comme la suit :

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

Tableau II.1. valeur moyenne du coefficient de dureté du minerai de fer de l'Ouenza

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

Produit	Masse volumique(P) en t/m ³
Minerai riche	2.8
Minerai brun	2.75
Stérile	2.6

Tableau II.2. valeur de masse volumique du minerai de fer de l'Ouenza

II.4. Classification des minerais de fer

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

II.4.1. Par rapport à leur teneur en fer, les minerais sont classés en :

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

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

- ✓ minéraux magnétiques : $\text{Fe} = 50 \% \div 67 \%$
- ✓ minéraux d'hématite : $\text{Fe} = 30 \% \div 45 \%$
- ✓ minéraux de limonite : $\text{Fe} = 25 \% \div 45 \%$
- ✓ minéraux carbonates : $\text{Fe} = 30 \% \div 40 \%$

II.4.2. Les principaux minerais de fer sont :

II.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 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 Pa3 (Z = 4 unités formulaires par maille), avec le paramètre de maille $a = 5,416 \text{ \AA}$ (volume de la maille $V = 158,87 \text{ \AA}^3$, masse volumique calculée = $5,02 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

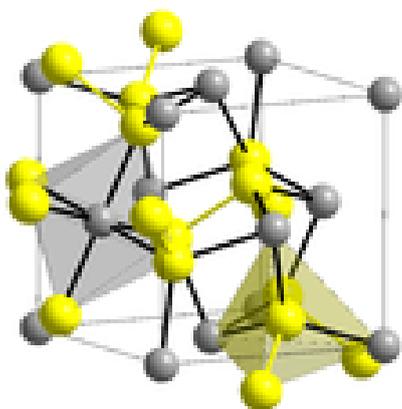


Fig. II.1. Structure de la pyrite. Jaune **Fig. II.2.** Pyrite - mine de Batère, Orientales gris : Fe^{2+} .

II.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 composée 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.



Fig.II.3. Siderite - Mine Morro Velho, Brésil -(21x13cm)

II.4.2.3. Les oxydes

❖ **La magnétite**, spinelle ferrimagnétique Fe_3O_4 , est le minéral de fer le plus riche en métal. Elle est souvent associée à l'hématite dans le même gîte, mais gîtes de magnétite pure sont aussi connus. Densité 5,15, couleur noire, éclat métallique, souvent accompagnée d'impuretés comme la silice, la chaux, l'alumine et le phosphore.

✓ **La dureté** : Échelle de Mohs 3,5 - 4,5

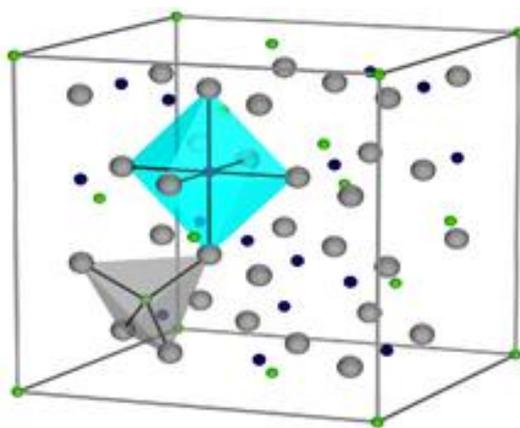


Fig. II.4. Structure cristalline de la Magnétite

❖ **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 nombreuses formes cristallines. Les cristaux peuvent atteindre 13 cm.

L'hématite $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, est le composant le plus important des minéraux de fer traités dans l'industrie sidérurgique. Elle est composée 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/cm^3



Fig. II.5. Hématite Rose de Fer - Ouro Preto, Brésil (6x3,6 cm)

II.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.

II.5.1. Minerais de fer carbonatés

Les carbonates

Minerai	Répartition chimique	Couleur	Caractéristiques
Sidérite FeCO₃	48,20% fer 37,99% CO ₂ 13,81% oxygène	Blanc à gris vert, elle peut virer au brun, en présence d'humidité	Les sidérites contiennent en général une proportion assez variable de calcium, magnésium ou manganèse.

Tableau II.3 .Caractéristique des minerais de fer carbonatés

II.5.2.Minerais de fer oxydé

Minerais oxydés			
Minerai	Répartition 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).nH₂O	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 se rencontre souvent en association avec de l'hématite.

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

Tableau II.4. Caractéristique des minerais de fer oxydés

II.5.3. Minerais de fer silicaté

Les silicates	
Minerai	Caractéristiques
Chamosite, Stilpnomélané, 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 II.5. Caractéristique des minerais de fer silicatés

II.5.4. Minerais de fers sulfurés

Les sulfurés			
Minerai	Répartition 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 II.6.Caractéristique des minerais de fer sulfurés [8]

II.6.Caractéristiques du minerai

Le minerai de fer exploité dans la mine de l'Ouenza 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.

II.7. La composition chimique de minerai de fer

Le minerai de fer est un roche contenant du fer en grande importance et économiquement peuvent être traitées en procédé métallurgique.

- Selon la forme des combinaisons chimiques, plusieurs types de minerai de fer
- la magnétite (Fe₃O₄), sa couleur varie du gris foncé au noir
- l'hématite rouge (Fe₂O₃), sa couleur varie du rouge foncé au gris foncé
- L'hématite brune (Fe₂O₃.H₂O), sa couleur varie du noir au jaune.
- Fer spathique ou sidérose (FeCO₃), sa couleur varie du jaune pâle au gris

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

Type	Fe	Mn	P	Si O ₂	AlO 3	CaO	MgO	CO ₂	humidit é
La magnétite (Fe ₃ O ₄)	50- 70	0.04- 0.2	0.00 2-3	0.1 -7	0.3- 1.2	1.0- 6	0.5- 1.5	1
L'hématite rouge (Fe ₂ O ₃)	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 (Fe ₂ O ₃ - H ₂ O)	25- 58	0.5-5	0.1- 1	5- 18	1-10	1-25	0.2-2	8-30	5-15
Fer spathique ou sidérose(FeCO 3)	30- 40	1-7	0.02	7- 10	0.1- 3	0.5- 3	0.5- 3.5	20- 30	0.5-2

Tableau II.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.

Gisements	Type de minerai	Fe	SiO ₂	AL ₂ O 2	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	50/56	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 II.8. Quelques caractéristiques et composition chimique des minerais de fer Algériens. [10]

II.8. Production de minerai de fer

II.8.1. Dans le monde

Les principaux pays producteurs de minerai de fer dans le monde en MT (De 2013 à 2019), et l'évolution de la production de minerai de fer dans le monde en millions de tonnes sur la période 1996 à 2016 sont présentés comme suit.

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 II.9. Liste des plus grandes pays producteurs de fer De 2013 à 2019 [11]

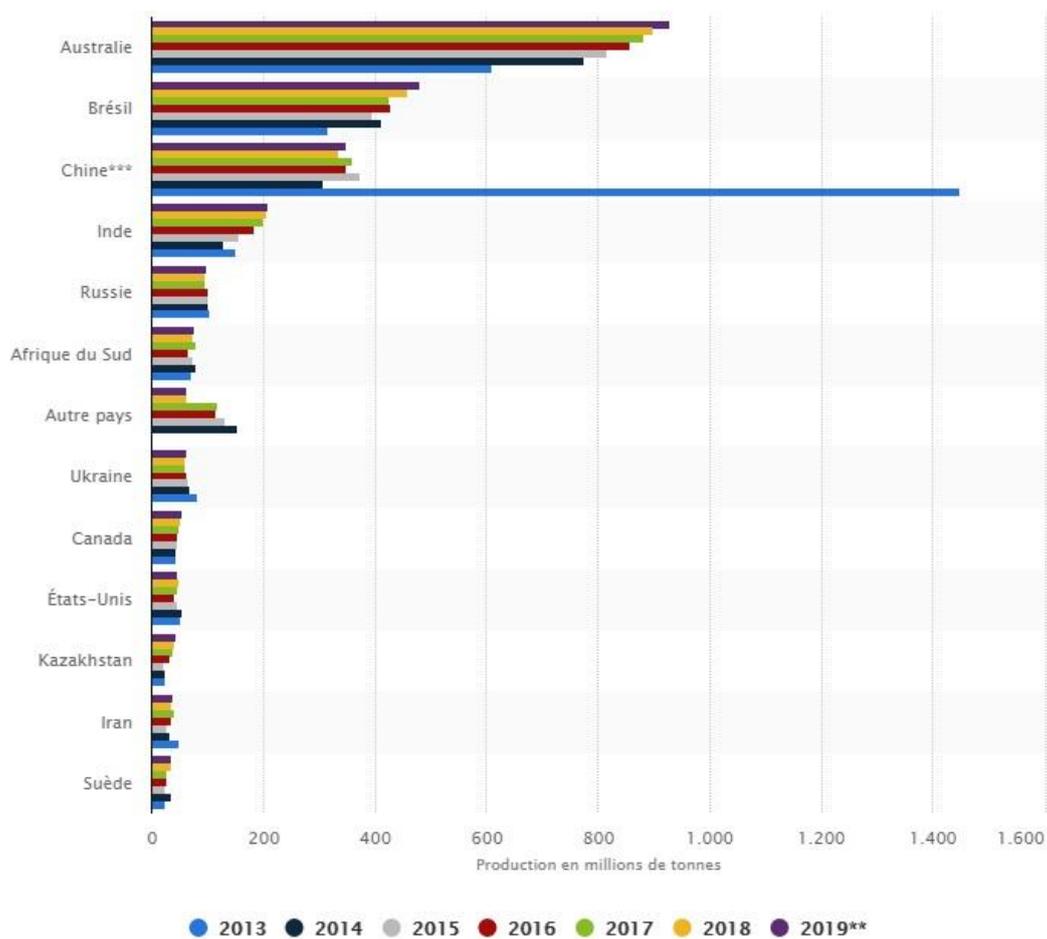


Fig. II.6. Graphique des plus grandes pays producteurs de fer De 2013 à 2019[11]

La production mondiale d’acier pour 2019 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 2019 .

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 2019 .

En troisième rang vient **le Chine** avec une production annuelle de 350 millions de tonnes.

II.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]

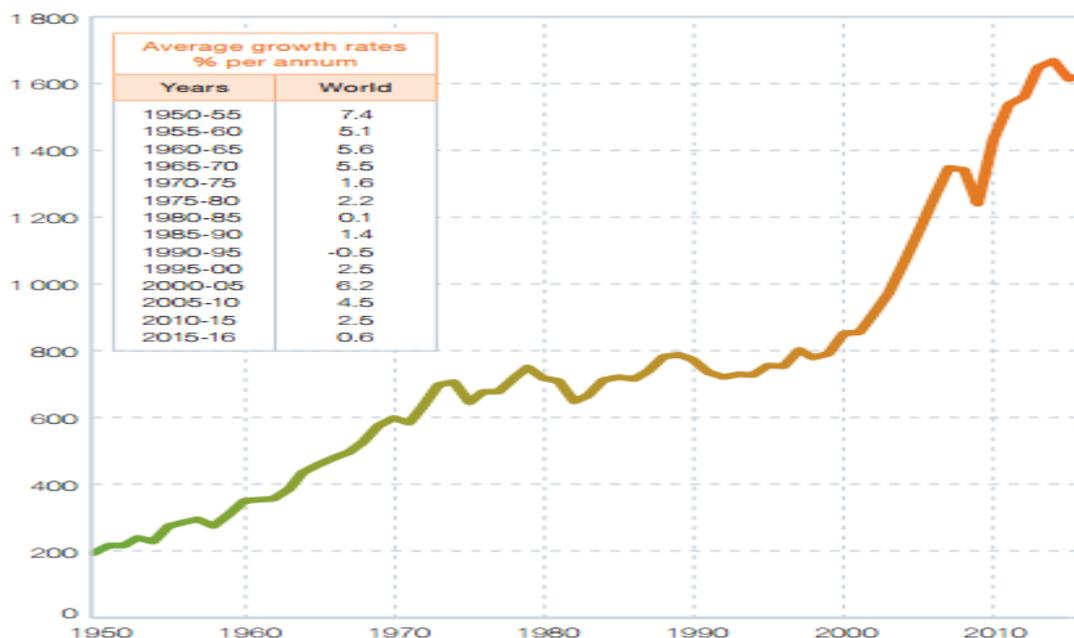


Fig. II.7. L'évolution de la production d'acier entre 1950 et 2016 [12]

II.8.3. Dans le monde arabe

Dans le monde arabe Les ressources en minerai de fer sont disponibles dans la majorité 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 dominant la production du minerai de fer (Mauritanie, l'Algérie, la Tunisie, Egypte) et aussi alimentent leurs usines sidérurgique par le minerai local. La part de Mauritanie est la plus importante (production en 2015 ; 11.6MT).

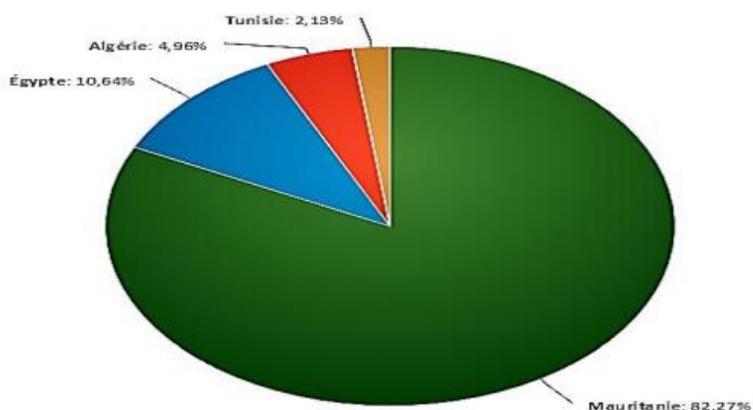


Fig. II.8. Production arabe du minerai de fer en 2015 [5]

Pays	Production du minerai de fer en MT					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Mauritanie	11,109	11,176	11,760	12,531	13,306	11,600
Égypte	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	14,059	14,476	17,103	15,263	16,025	14,1

Tableau II.10. L'évolution de la production du minerai de fer dans le monde arabe[5]

II.8.4.En Algérie

L'Algérie se trouve dans un rang très important parmi les pays arabes producteurs 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.

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

Tableau II.11. La production du minerai de fer en Algérie ($\times 10^3$). [5]

II.9. Les ressources minérales en Algérie

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

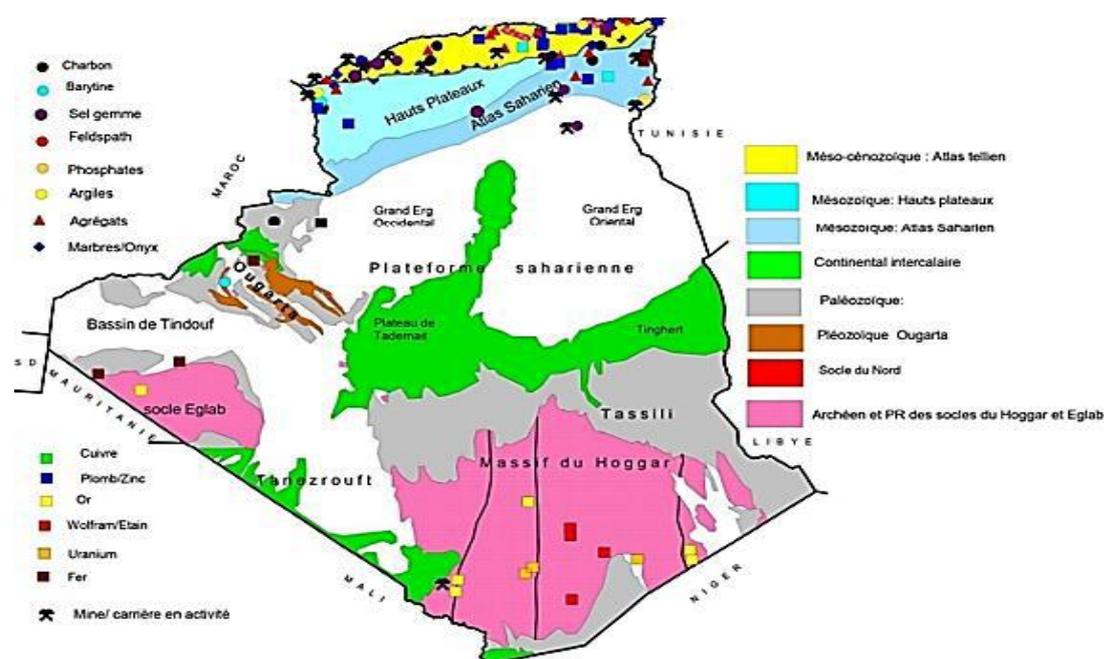


Fig. II.9. Carte de répartition des principaux gisements en Algérie (Ministère de l'Industrie et des Mines, 2015)

II.10. Les réserves en minerai de fer

II.10.1. Les réserves 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,
- 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 [5]

II.10.2. Les réserves 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 en minerai qui peut être extrait de manière profitable au moyen de la technologie existante et dans les conditions économiques actuelles». Le tableau suivant donne les importants pays qui ont des grandes réserves en minerais de fer.

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

Tableau II.12. Les plus grandes réserves de minerai de fer dans le monde en 2019 (en millions de tonnes) [13]

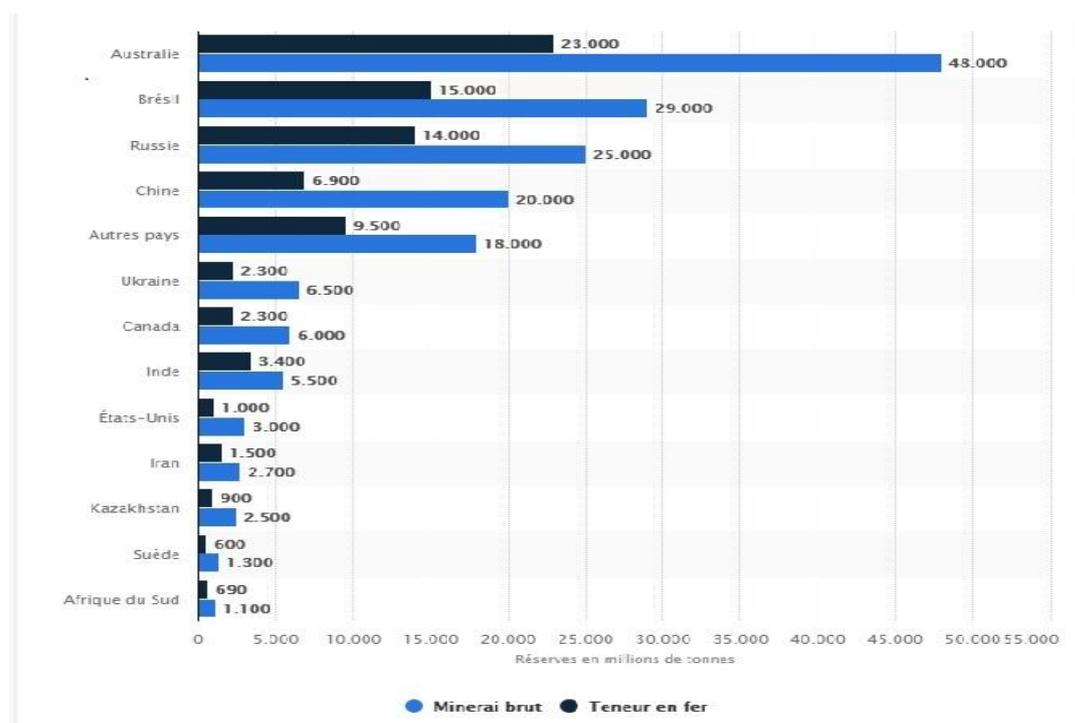


Fig. II.10. Les réserves de minerai de fer dans le monde en 2019 [13]

II.11. Le prix du minerai de fer

En mars 2020, le prix du fer s'établit à 89 dollars la tonne, en hausse de 1.4 % sur un mois et en hausse de 2.8 % sur un an .



Fig. II.11. L'évolution des prix du minerai de fer de 2006 jusqu'à 2020[14]

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

La Chine , l'Australie et le Brésil sont les principaux pays producteurs. Le fer est le métal le plus utilisé dans le monde et l'un des plus abondants sur terre, il est majoritairement utilisé dans des hauts fourneaux pour la fabrication de l'acier ou de la fonte .

Le prix du fer indiqué ici est tiré des statistiques de la Banque mondiale, pour le minerai de fer importé de chine (la référence du marché), à teneur minimale 62 % . [14]

II.12. Utilisation du fer dans le monde

Le fer n'est pas utilisé à l'état naturel mais utilisé sous forme d'alliage de fer qui s'appelle l'acier, l'acier est un alliage de fer et de carbone obtenu par affinage de la fonte, c'est-à-dire par diminution, jusqu'au niveau désiré de la teneur en carbone du mélange (souvent en dessous de 2%). Des éléments sont souvent présents dans l'acier, ce sont principalement :

- des impuretés appelées scories en général moins de 0,1% qu'il s'agira de retirer. Ça peut être de l'oxygène, du phosphore ou du soufre,
- des nouveaux produits (ou adjonctions entre 0,1% et 10% voire plus) comme le silicium, le manganèse, le chrome, le nickel, le cobalt, le molybdène, le vanadium, l'aluminium ou le cuivre par exemple. L'ajout de ces éléments est destiné à améliorer les caractéristiques physiques et/ou mécaniques de l'alliage.

On estime à près de 98% la part du minerai de fer employé pour la fabrication d'acier. Ce pourcentage très élevé s'explique notamment par le caractère extrêmement polyvalent de ce métal en comparaison avec la fonte. Il supporte la déformation par compression ou par extension à chaud ou à froid. Il prend également très bien la trempe, c'est à dire qu'il est susceptible d'acquérir une très grande dureté par chauffage à une température élevée (au-delà du point de transformation - austénisation) et refroidissement rapide, par immersion dans un liquide, eau ou huile ou même simplement à l'air comme c'est le cas pour les aciers autotremnants par exemple.

Traditionnellement, deux principaux types de produits peuvent être distingués : les plats et les longs. Les produits plats en feuilles ou en bobines comprennent les plaques, les feuillards, les tôles minces nues ou revêtues. Les produits longs regroupent principalement les profilés lourds du type poutrelles, rails et fils. Ce sont ces produits "semi-finis" qui entreront dans le processus de fabrication de différentes industries allant du bâtiment, aux boîtes de conserves alimentaires, en passant par les composants électroniques ou les coques de certains bateaux.

❖ Dans la construction

Les inventions de Bessemer, Martin et Thomas ont permis la fabrication d'un acier normalisé et standardisé ont ouvert la voie à une production de masse. A partir de cette époque, l'acier a commencé à être plus généralement employé notamment dans la réalisation d'ouvrages architecturaux. Il est aujourd'hui le métal le plus utilisé dans ce secteur où il sert notamment à la réalisation d'ouvrages d'arts tels que des ponts par exemple. Même s'il n'en constitue pas le matériau de base, l'acier est presque toujours présent puisqu'il sert à armer le béton, permettant ainsi de renforcer les fondations et de le rendre plus résistant aux années. Il permet également de former le squelette de certains bâtiments. La construction est le premier secteur d'utilisation de l'acier.

❖ Dans l'automobile

Le secteur de l'automobile est le deuxième marché pour l'acier. Les pièces en acier représentent de 55% à 70% du poids d'un véhicule. Au sein de cette industrie, l'acier va servir à fabriquer des châssis, des pièces de carrosserie ou de moteur. Sous forme de fils, il peut entrer dans la réalisation de carcasse de pneu. Si l'acier est employé sous sa forme brute, il devra être traité contre la corrosion (application d'une couche de zinc et d'une couche de peinture, pour les carrosseries notamment).

❖ Industrie alimentaire (emballages, ustensiles de cuisine...)

L'acier est un métal avec lequel chacun est quotidiennement en contact. Sous la forme de fer blanc, on s'en servira pour produire des emballages domestiques tels que des boîtes de conserve, des canettes de boisson, des conditionnements pour laque à cheveux ou pour déodorant, ainsi que des ustensiles de cuisine comme des plats, des casseroles ou des couverts. Ils sont aujourd'hui plus fréquemment fabriqués en inox (alliage de nickel et de chrome) qui ne nécessite aucune protection particulière puisqu'inaltérable dans la masse. L'inox ne se détériore pas au contact de l'eau, ni des détergents. Il est parfaitement sain et n'altère ni le goût ni la couleur des aliments.

❖ En pharmacie

Le fer est utilisé pour la préparation de médicaments. Du XVII^e siècle au début du XX^e siècle, il était l'un des principaux composants des boules d'acier vulnérables, boules de Nancy, boules de Molsheim, boules minérales des Chartreux, qu'on faisait tremper dans de l'eau pour la charger en substances réputées bénéfiques.

❖ Autres secteurs d'utilisations

Peu de domaines échappent à la polyvalence de l'acier et de ses alliages. Le secteur de l'informatique et de la téléphonie sans cesse en évolution servent de tremplin à ce métal qui entre notamment dans la fabrication de composants électroniques. Dans le domaine de l'aérospatiale, l'acier est utilisé dans la réalisation de pièces très pointues pour les satellites .

Le secteur de l'énergie utilise également les alliages à base de fer que ce soit en ce qui concerne le forage (plate-formes de forage), le transport du pétrole ou du gaz

naturel par le biais de gazoducs ou d'oléoducs, la construction de centrales nucléaires ou les câbles électriques pour le transport de l'énergie vers l'utilisateur final. L'industrie chimique quant à elle cumule les défis avec des milieux hautement corrosifs, un travail à très haute température et des contraintes mécaniques élevées.[10]

II.13.La consommation du minerai de fer

II.13.1.Au niveau national

II.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

II.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 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.[5]

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons constaté que le minerai de fer est l'élément le plus abondant de la croûte terrestre et le plus recherché pour ses propriétés utilisatrices et rechercher les plus grandes réserves et producteur de minerai de fer dans le monde .
Donc le fer Il est considéré comme le fondement de l'industrie moderne

Introduction :

La minéralurgie se définit comme l'ensemble des méthodes de traitement utilisées lorsqu'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.

III.1: Procèdes d'enrichissement du minerai de fer

III.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 SMBI ne peut être efficace qu'avant de procéder à un grillage magnétisant préalable à 800°C du produit, afin de lui donner une susceptibilité magnétique élevée. A ce niveau nous attendant un concentré définitif, mais un rendement de séparation plus ou moins faible.

III.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%.

III.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 –Minnesota- pendant les années 1950-1960 et a été appliqués pour les gisements similaires (Joseph J. Poveromo., 1999).

III.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 pas et qui remontent à la surface du bain. D'autres espèces minérales, par contre, sont hydrophiles, 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.

III.2. Traitement de minerai de fer :

La plus grande partie des minerais (représentant, 80 % de la production primaire de cuivre) subit une concentration avant des opérations pyrométallurgique suivies d'un raffinage. Une partie des minerais (représentant, 20 % de la production primaire de cuivre) est traitée, sans concentration, selon les procédés de dissolution-extraction par solvant, puis électrolyse, donnant directement du cuivre de qualité commerciale sous forme de cathodes.

Pour la concentration, ce qui concerne les minerais sulfurés c'est le broyage fin des minerais (grains < 0,15 mm) suivi d'une concentration par flottation dans des cellules de 60 à 100 m³. La molybdénite (MoS₂) contenue ; par exemple flotte naturellement, le sulfure de cuivre étant alors déprimé à l'aide de sulfure de sodium (0,2 g/L). Le taux de récupération du molybdène est compris entre 27 et 60 %. La flottation des sulfures de cuivre est réalisée en présence de xanthates (25 à 300 g/t) ou de dithiophosphates (100 à 150 g/t). Le taux de récupération du cuivre atteint 90 à 95 %. Les concentrés obtenus contiennent environ 31 % de Cu. Les opérations de concassage et broyage représentent jusqu'à 85 % des coûts de concentration dans les usines de traitement du cuivre.

III.2.1.Libération et classement:

La mise œuvre de toute technique de concentration impose comme préalable, broyage et classement granulométrique adaptés aux dimensions des constituants, que l'on cherche à séparer certaines séparation nécessitent en autre parfois un contrôle de l'humidité par séchage Un minerai peut être caractérisé par plusieurs niveau d'hétérogénéité à chaque niveau correspondra un choix de techniques et un bilan optimal de séparation. Dans le cas des procédés physiques ou nous somme placés, la séparation théoriquement la plus parfaite devait se situer au niveau la libération des constituants minerai logique, les opérations de pré-concassage et de concassage

grossier sont du domaine des appareils classiques à 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.

III.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 apport 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 + SMBI).

III.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%.

III.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 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).

III.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 :Fe=32%, concentré :Fe=60% et les rejets :Fe=18%).

III.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.

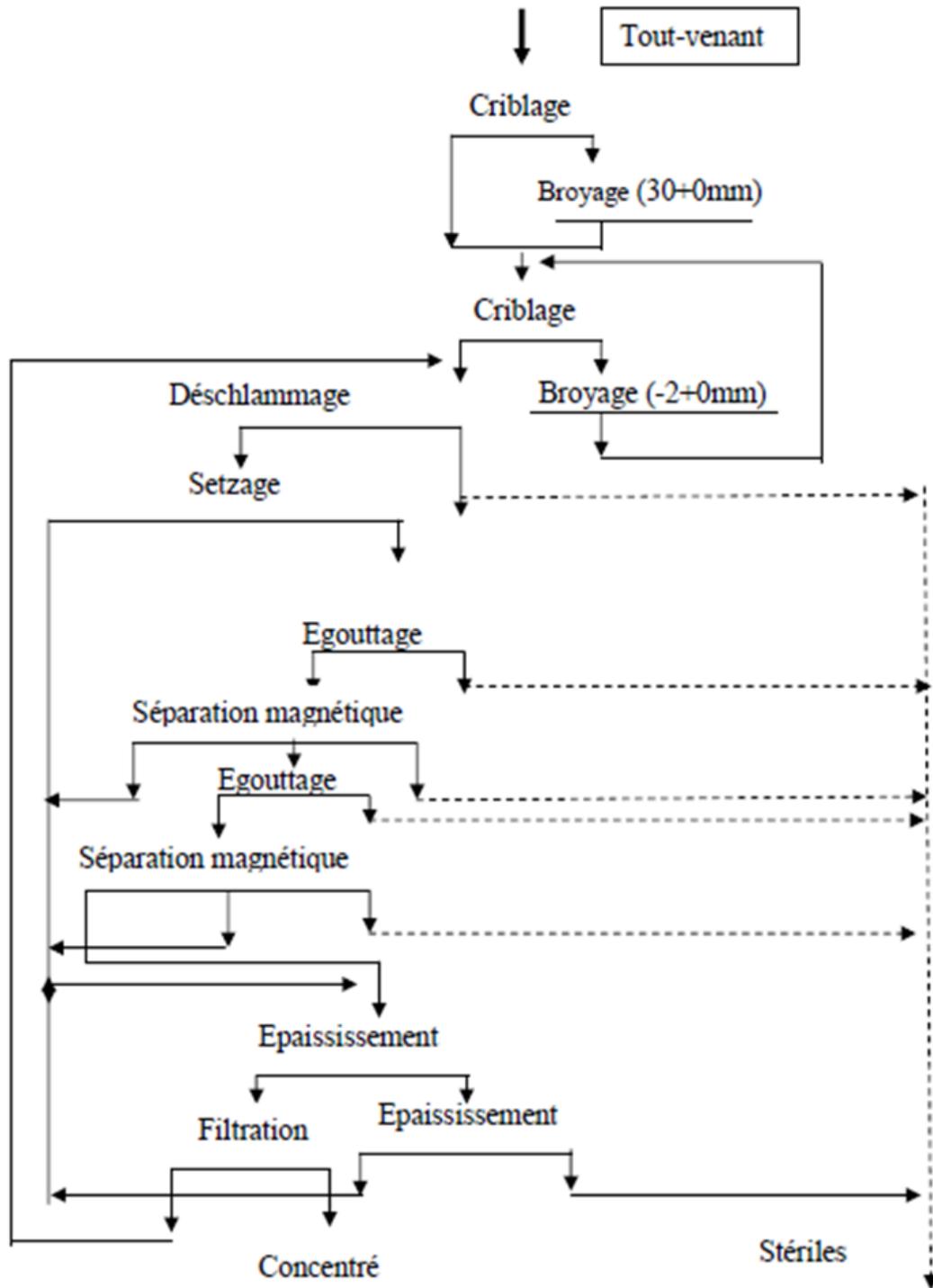


Figure.1: Schéma de traitement des minerais de fer (hématite brune) : RUSSIE

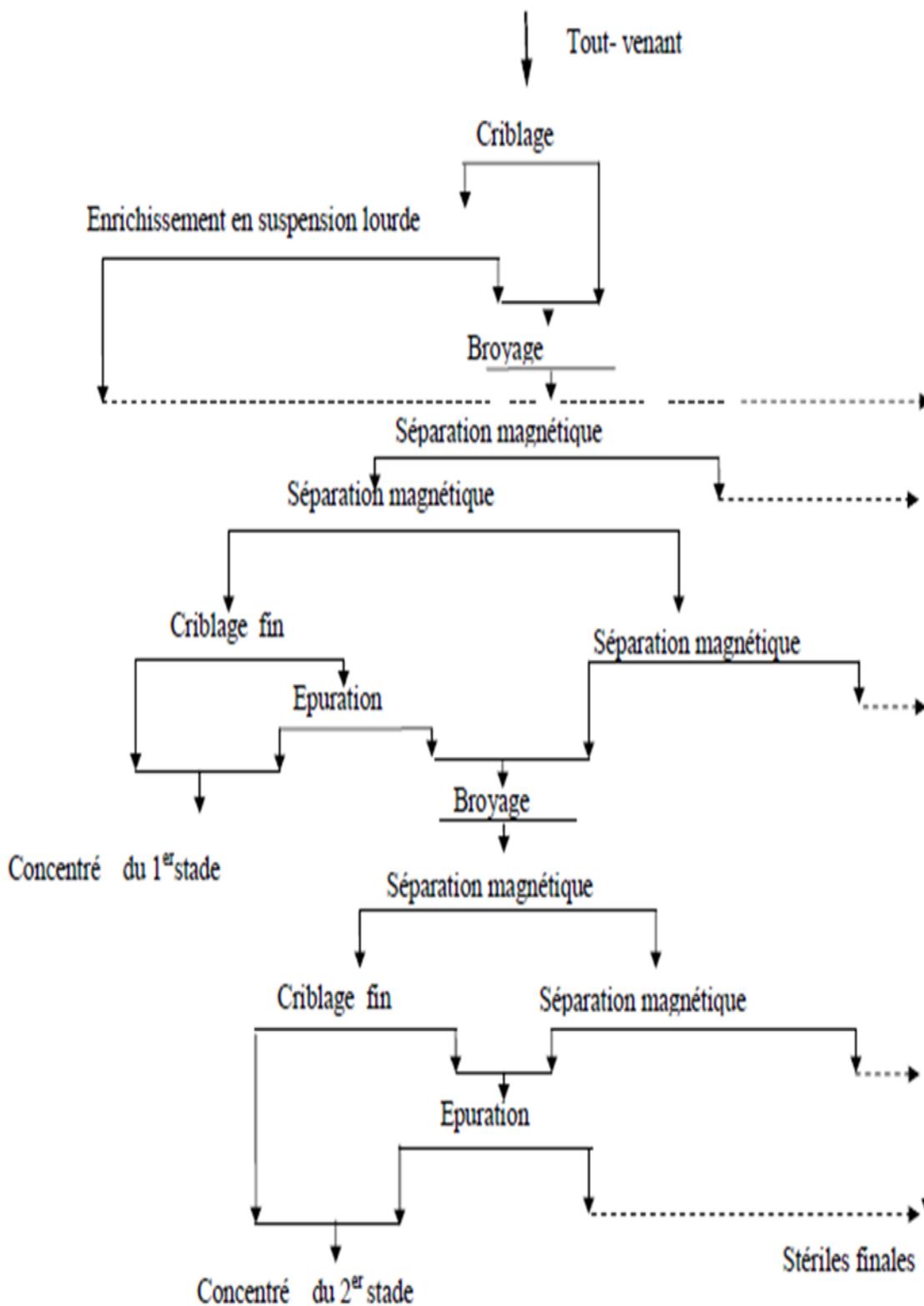


Figure.2:Schéma de traitement des minerais de fer oxydent Russisa

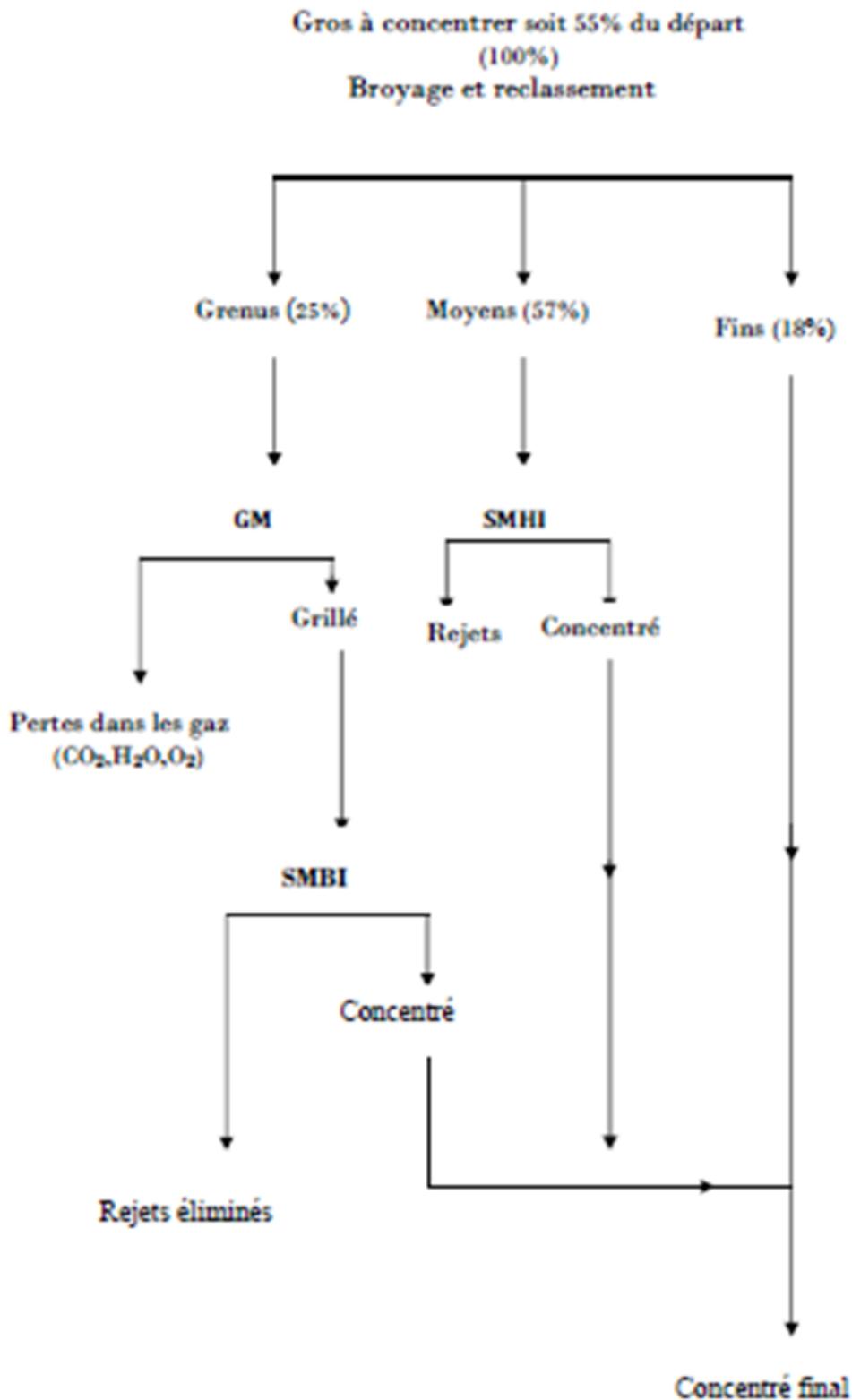


Figure.3: Schéma de traitement des minerais hématiques : France

III.4. Métallurgie de minerai de fer

III.4.1. Grillage

III.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 :

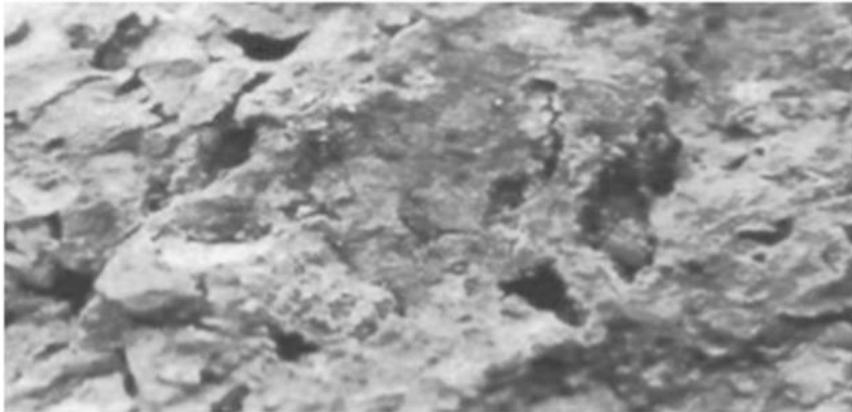


Figure.4: Minerai brut – Goéthite

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 :



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.

III.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.

III.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 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.

Tableau.1. Proportion de quelques éléments alliés

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	---

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 brèveté 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 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 -30 ° 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 ULC-IF et ELC.

Tableau.2. Conditions et pourcentages des éléments dans différentes qualités d'aciers.

ELEMENT QUALITE	ELEMENT				
	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

Afin d'éliminer les éléments nuisibles, les produits recherchés 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.

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.

IV .1 Schéma de préparation mécanique:

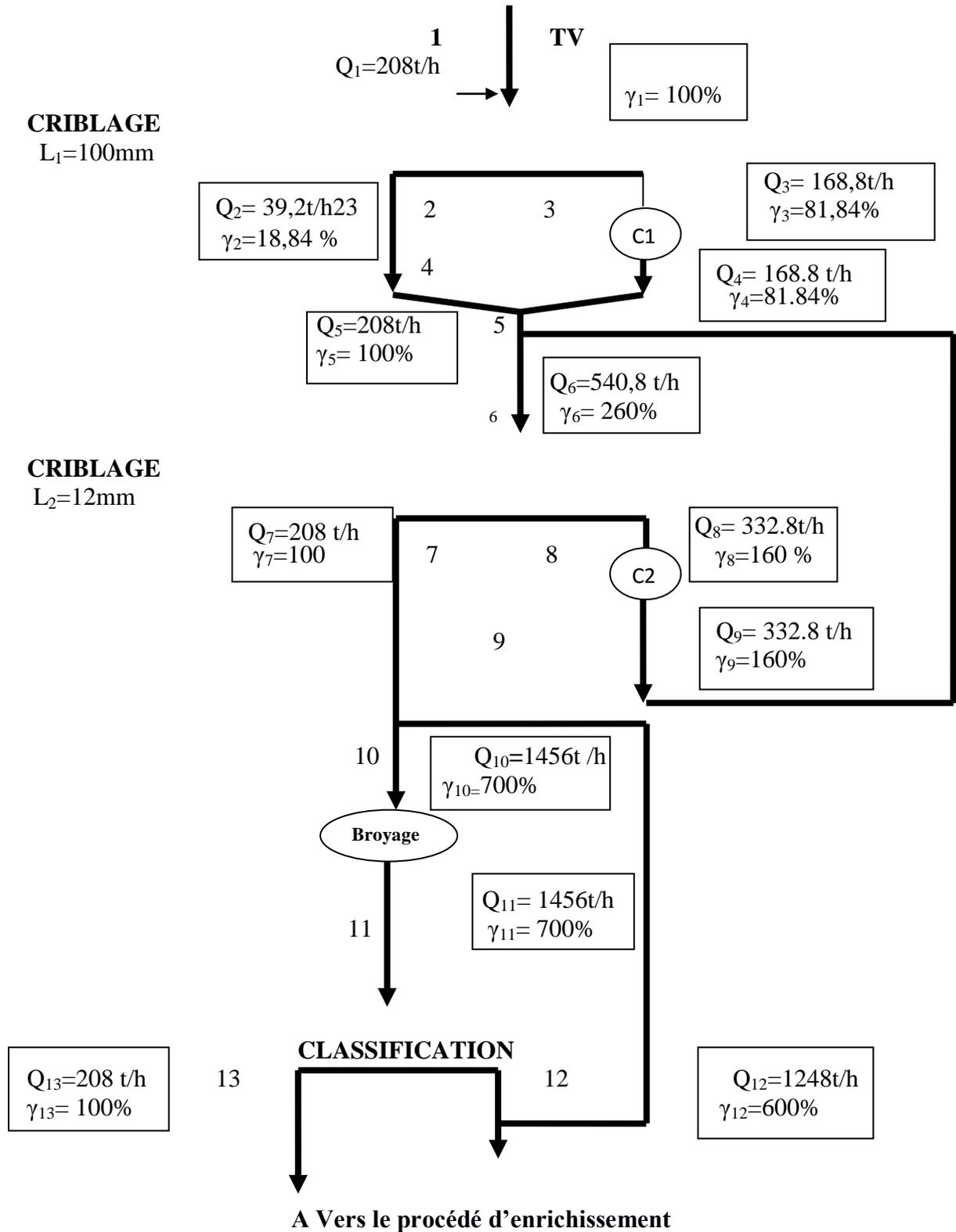


Figure 0.01 : Schéma de préparation mécanique.

IV.2 Calcul du schéma de concassage et de broyage et choix des équipements :

IV.2.1 Données de départ

- Dimension maximale des morceaux : $D_{\max} = d_1 = 500 \text{ mm}$
- On a: $Q=16947590$ pendant 28ans
- Dureté : 3-8
- $\alpha = 35\%$
- Production annuelle $Q_{\text{an}} = 600000 \text{ t /ans}$
- Densité de minerai $= 2.7 \text{ g/cm}^3$
- Densité foisonnée $= 4.72 \text{ t/m}^3$
- Coefficient de foisonnement $= 1,75$

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

IV.2.2 Elaboration du schéma de préparation mécanique

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

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

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

$M_c = 5j$: 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

$$Q = \frac{Q_{\text{an}}}{N_j} = \frac{600000}{240} = 2500 \text{ t/j}$$

$$\text{Alors : } Q_1 = \frac{2500 * 5}{5 * 2 * 6} = 208 \text{ t/h}$$

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

Avec $D_{\max} = 500 \text{ mm}$

Tableau 0.1 : analyse de tamisage du TV

TRANCHE granulométrique en fonction de D_{max}	TRANCHE granulométrique en (mm)	Rendement Par classe %	Rendement Cumule refus ($\Sigma Y \searrow$) %	Rendement cumule passant ($\Sigma Y \nearrow$)
$-D_{max}+3/4D_{max}$	-500+375	18	18	100
$-3/4 D_{max}+1/2 D_{max}$	-375 +250	21	39	82
$-1/2 D_{max}+1/4 D_{max}$	-250+125	26	65	61
$-1/4 D_{max}+1/8 D_{max}$	-125+62.5	16	81	35
$-1/8 D_{max} +0$	-62.5+0	19	100	19
Total		100		

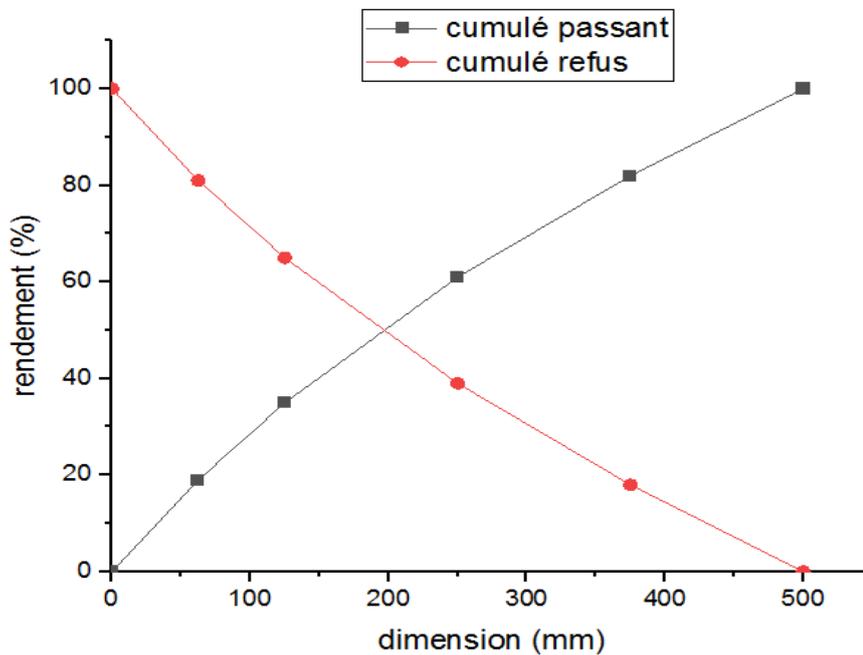


Figure 0.02 :caractéristique granulométrique du produit brut(1).

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

$$i_g = \frac{D_{max}}{d_{max}} = i_1 * i_2$$

D_{max} : grosseur maximale des morceaux avant concassage.

d_{max} : grosseur maximal après concassage du 2ème étage.

On fixe les degrés de concassage dans le 1er, étage de concassage

$i_1 = 3$ à 5 on prend $i_1 = 5$

Degré de concassage dans le 2eme étage de concassage

$$i_g = i_1 * i_2 \implies i_2 = \frac{i_g}{i_1} = \frac{42}{5} = 8$$

➤ **Détermination des dimensions des morceaux maximums :**

$$d_5 = d_1 / i_1 = 500 / 5 = 100 \text{ mm}$$

$$d_9 = d_1 / (i_1 * i_2) = 500 / (5 * 8) = 12 \text{ mm}$$

➤ **Détermination des dimensions des fentes de déchargement des concasseurs**

Tableau 0.02 : grosseur relative du produit concassé

Catégories de la dureté du minerai	Concasseur grossier	Concasseur à cône
	A mâchoires (Z_1)	CCI (Z_2)
Minerai dur	1.7	3

Les dimensions des fentes de déchargement des concasseurs

Pour minerai dur :

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

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

Donc

$$S_1 = d_5 / Z_1 = 500 / 1.7 = 58.8 \text{ mm}$$

$$S_2 = d_9 / Z_2 = 12 / 3 = 4 \text{ mm}$$

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

$$B_1 = (1.1 \div 1.2) * d_1 = 1.15 * 500 = 575 \text{ mm}$$

$$B_2 = (1.1 \div 1.2) * d_5 = 1.15 * 100 = 115 \text{ mm}$$

➤ **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 :

$$L_1 = d_5 = 100 \text{ mm}$$

$$L_2 = d_9 = 12 \text{ mm}$$

➤ **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 :

$$Q_2 = Q_1 * B_1^{-L1} * E_1$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2$$

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

N° 1, Donc :

$$B_1^{-L1} = B_1^{-100} = 100 - 71 = 29 \%$$

$$Q_2 = Q_1 * B_1^{-L1} * E_1 = 208 * 0.29 * 0.65 = 39,20 \text{ t/h}$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 208 - 39,20 = 168,8 \text{ t/h}$$

$$Q_4 = Q_3 = 168,8 \text{ t/h}$$

$$Q_5 = Q_1 = 208 \text{ t/h}$$

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

$$\gamma_9 = 160 \%$$
 donc : $Q_9 = Q_1 * \gamma_9$

$$Q_9 = 1,6 * (208) = 332,8 \text{ t/h}$$

$$Q_6 = Q_5 + Q_9 = 208 + 332,8 = 540,8 \text{ t/h}$$

$$Q_9 = Q_8 = 332,8 \text{ t/h}$$

$$Q_7 = Q_6 - Q_8 = 540,8 - 332,8 = 208 \text{ t/h} = Q_1$$

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

Sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 0.03 : Caractéristiques des concasseurs d'après les calculs.

Caractéristique de Concasseur	Dimension de l'ouverture de chargement (mm)	Dimension de la fente de déchargement (mm)	Capacité de production (t/h)
Premier étage	$B_1 = 575 \text{ mm}$	$S_1 = 58.8 \text{ mm}$	$Q_3 = 168,8 \text{ t/h}$
Deuxième étage	$B_2 = 115 \text{ mm}$	$S_2 = 4 \text{ mm}$	$Q_8 = 332,8 \text{ t/h}$ Q

Tableau 0.04 : Paramètre de concasseur à mâchoires à double effet CMD 6x 9 et concasseur à cône à concassage intermédiaire CCCI.

Type et dimensions	N ^{br} et coeff d'exploitation		Débit ; t/h		PuissanceKw/h	
	N ^{br}	Ke	L'un	Total	L'un	Total
CMD 6x9	1	0,81	96,25	96,25	75	75
	2	1,6	52,5	52,5	75	75
CCCI 1200A	2	1,6	52,5	52,5	75	75

$$1) \text{ pour CMD } Ke = \frac{Q_3}{nQ_1} = \frac{168.8}{208} = 0,81$$

$$2) \text{ pour CCCI } Ke = \frac{Q_8}{nQ_1} = \frac{332.8}{208} = 1,6$$

IV.2.3. Calcul final du schéma de concassage et choix des équipements :

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

$$S_1 = 58.8 \text{ mm}, S_2 = 4 \text{ mm}.$$

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

$$d_4 = S_1 * Z_1 = 58.8 * 1.7 = 100 \text{ mm}$$

$$d_9 = d_{\max} = 12 \text{ mm}$$

➤ **Les degrés de concassage de chaque étage**

$$i_1 = D_{\max} / d_5 = 500 / 100 = 5$$

$$i_2 = d_5 / d_9 = 100 / 12 = 1.33$$

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

$$d_5 \geq L_1 \geq S_1 \implies 100 \geq L_1 \geq 58.8 \implies L_1 = 100 \text{ mm}$$

$$d_9 \geq L_2 \geq S_2 \implies 12 \geq L_2 \geq 4 \implies L_2 = 12 \text{ mm}$$

Avec : 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 :

$$Q_2 = Q_1 \cdot B_1^{-L_1} \cdot E_1$$

$$E_1 = 0,65$$

$$B1^{-L1} = B1^{-100} = 0,29$$

Donc : $Q2 = 208 * 0,29 * 0,65 = 39,2 \text{ t/h}$

$Q3 = Q1 - Q2 = 208 - 39,2 = 168,79 \text{ t/h}$

6- On calcule les rendements :

$$\gamma2 = Q2/Q1 * 100 = (39,3/208) * 100 = 18.84\%$$

$$\gamma3 = Q3/Q1 * 100 = (168,79/208) * 100 = 81.15\%$$

➤ **Calcul 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 :

$$B5^{-d} = \frac{Q2(B2^{-d}) + Q4(B4^{-d})}{Q1}$$

Le tableau suivant présente la caractéristique de grosseur du produit N°4 avec $S_1 = 285.71 \text{ mm}$

Tableau 0.05 : Caractéristique granulométrique du produit N°4

Granulométrie en fonction de S_1	Granulométrie en (mm)	Rendement des classes (%)	Rendement cumulé refus ($\Sigma Y \downarrow$) (%)	Rendement cumulé passant ($\Sigma Y \uparrow$)
+2 S_1	+117.6			
-2 S_1 +1.75 S_1	-117.6 +102.9	0	0	100
-1.75 S_1 +1.5 S_1	-102.9 +88.2	0	0	100
-1.5 S_1 + S_1	-88.2 +58.8	10	25	100
- S_1 +0.75 S_1	-58.8 +44.1	20	45	90
-0.75 S_1 +0.5 S_1	-44.1 +29.4	20	50	70
-0.5 S_1 + 0.25 S_1	-29.4 +14.7	25	75	50
-0.25 S_1 + 0	-14.7 +0	25	100	25
Total		100		

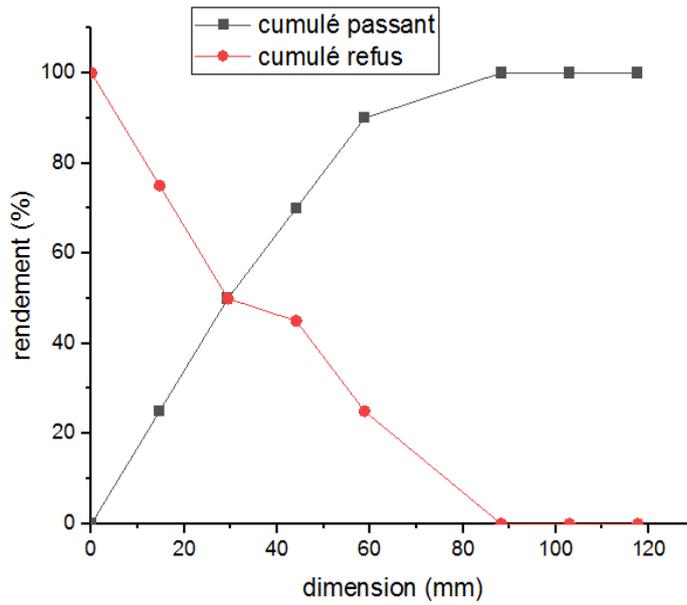


Figure IV-03 : caractéristique granulométrique du produit N°4.

➤ Traçage de la caractéristique granulométrique du produit N°5

D'après la formule suivante :

$$B_5^{-d} = B_1^{-d} * E_1^{-d} + (1 - B_1^{-L_1} * E_1^{-L_1}) * B_4^{-d}$$

$$E_1 = E_1^{-L_1} = 0.65$$

$$B_1^{-L_1} = 29\% = 0.29$$

On calcul les teneurs B_1 et B_4

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

$$B_1^{-100} = 100 - 71 = 29\%$$

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

$$B_1^{-50} = 100 - 85 = 15\% \quad B_4^{-50} = 100 - 37 = 63\%$$

$$B_1^{-25} = 100 - 92 = 8\% \quad B_4^{-25} = 100 - 57 = 43\%$$

$$B_1^{-12} = 100 - 96 = 4\%$$

$$B_4^{-12} = 100 - 79 = 21\%$$

$$B_1^{-6} = 100 - 99 = 1\%$$

$$B_4^{-6} = 100 - 90 = 10\%$$

On calcule le teneur du produit N°5 :

$$B_5^{-d} = B_1^{-d} * E_1^{-d} + (1 - B_1^{-L_1} * E_1^{-L_1}) * B_4^{-d}$$

- $B_5^{-100} = B_1^{-100} * E_1^{-L1} + (1-B_1^{-L1}*E_1^{-L1})*B_4^{-100}$
 $B_5^{-100} = 0.29 * 0.65 + (1-0.29 *0.65)*1 = 100 \%$
- $B_5^{-50} = B_1^{-50} * E_1^{-L1} + (1-B_1^{-L1}*E_1^{-L1})*B_4^{-50}$
 $B_5^{-50} = 0.15 * 0.65 + (1- 0.24*0.65)*0.63= 0.61 = 61\%$
- $B_5^{-25} = B_1^{-25} * E_1^{-L1} + (1-B_1^{-L1}*E_1^{-L1})*B_4^{-25}$
 $B_5^{-25} = 0.08 * 0.65 + (1-0.24 *0.65)*0.43=0.40 = 40\%$
- $B_5^{-12} = B_1^{-12} * E_1^{-L1} + (1-B_1^{-L1}*E_1^{-L1})*B_4^{-12}$
 $B_5^{-12} = 0.04* 0.65 + (1-0.24 *0.65)*0.21 = 0.19 = 19 \%$
- $B_5^{-6} = B_1^{-6} * E_1^{-L1} + (1-B_1^{-L1}*E_1^{-L1})*B_4^{-6}$
 $B_5^{-6} = 0.01 * 0.65 + (1-0.57 *0.65)*0.1 =0.09 = 9\%$

Tableau 0.06 :Caractéristique de grosseur du produit 5.

Granulométrie en (mm)	Rendement des classes (%)	Rendement cumulé refus (ΣY↙) (%)	Rendement cumulé passant (ΣY↗)
-100 +50	39	39	100
-50 +25	21	60	61
-25 +12	21	81	40
-12+6	10	91	19
-6 +0	9	100	9
Totale	100		

A l'aide de ces valeurs on trace la caractéristiques granulométriques de produit N5

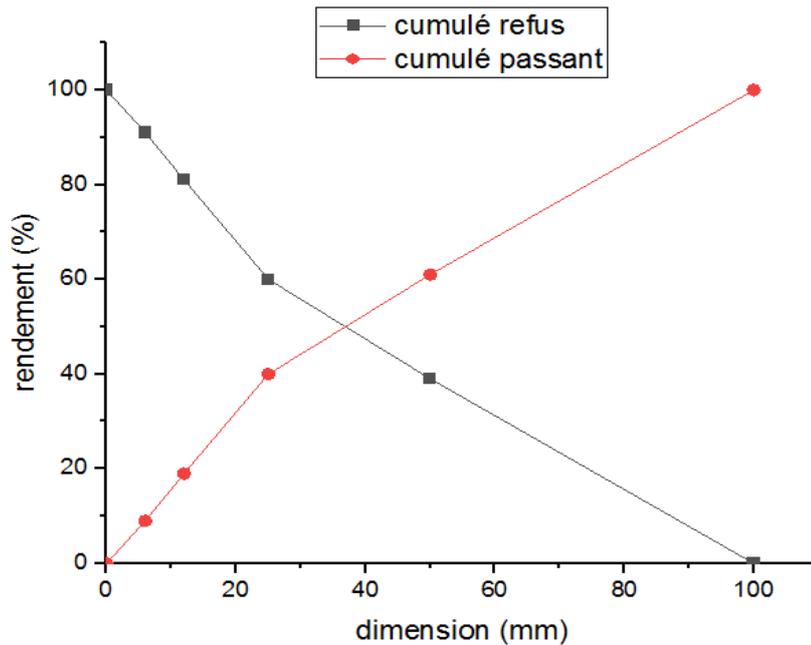


Figure 0.04 :caractéristique granulométrique du produit N°5.

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

Nous avons :

$$* Q7 = Q5 = Q1 \rightarrow Q7 = 208 \text{ t/h}$$

$$* Q9 = Q8 \rightarrow Q9 = 332,8 \text{ t/h}$$

$$* Q6 = Q5 + Q9 = 208 + 332,8 = 540,8 \text{ t/h} \rightarrow Q6 = 540,8 \text{ t/h}$$

$$\gamma_6 = Q6/Q1 * 100 = 540,8/208 * 100 = 260\%$$

$$\gamma_7 = Q7/Q1 * 100 = 208/208 * 100 = 100\%$$

$$\gamma_8 = Q8/Q1 * 100 = 332,8/208 * 100 = 160\%$$

IV.2.4. Choix final de concasseur du premier étage :

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

$$B_1 = 575 \text{ mm} \quad D_{\max} = 500 \text{ mm}$$

$$S_1 = 58,8 \text{ mm} \quad Q_3 = 168,8 \text{ t/h}$$

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

On calcule le nombre de concasseurs nécessaires au 1^{ère} étage :

$$N = Q_3 / Q_c \implies N = 168,8 / 280 = 0,6 \approx 1$$

Donc on installe un concasseur pour le 1^{ère} étage (CMD 6X9)

$$S = 3 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 50 \text{ mm}; Q_{\max} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}; Q_{\min} = 160 \text{ m}^3/\text{h}$$

$Q = Q_s * \delta$ tel que (δ : densité foisonnée)

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

$$\delta = \rho * K_f$$

ρ : densité de minerai ($d = 2,7 \text{ t/m}^3$)

K_f : coefficient de foisonnement ($0,65 \text{ t/m}^3$)

$$\delta = 2,7 * 0,65 = 1,75 \text{ t/m}^3$$

$$Q_s = 231 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_c = Q_s * \delta = 231 * 1,75 = 404,25 \text{ t/h}$$

On calcule le nombre de concasseurs nécessaires au 2^{ème} étage.

Selon la relation suivante :

$$N = Q_8 / Q_c \implies N = 332,84 / 404,25 = 0,8 \approx 1$$

Donc on installe un concasseur pour le deuxième étage du type (CCCI1200A)

Pour le deuxième étage.4

On trace la caractéristique de grosseur du produit 8 (produit concassé du 2^{ème} stade de Concassage) $S_2 = 4 \text{ mm}$.

Tableau 0.07 :Caractéristique granulométrique de grosseur de produit N°8

Tranche granulométrique en fraction de S ₂	Tranches granulométrique en (mm)	Rendement Partiel Y	Rendement de cumulé refus (∑Y _✓)	Rendement de cumulé passant (∑Y _↗)
+2.5 S ₂	-10 +9	8	8	100
-2.5S ₂ +2 S ₂	-9 +8	6	14	92
-2S ₂ +1.5 S ₂	-8 +6	16	30	86
+1.5 S ₂ +1.25 S ₂	-6 +5	10	40	70
-1.25 S ₂ + S ₂	-5 +4	10	50	60
- S ₂ +0.5 S ₂	-4 +2	30	80	50
-0.5 S ₂ +0.25 S ₂	-2 +1	15	95	20
-0.25 S ₂ +0	-1 +0	5	100	5
Totale		100		

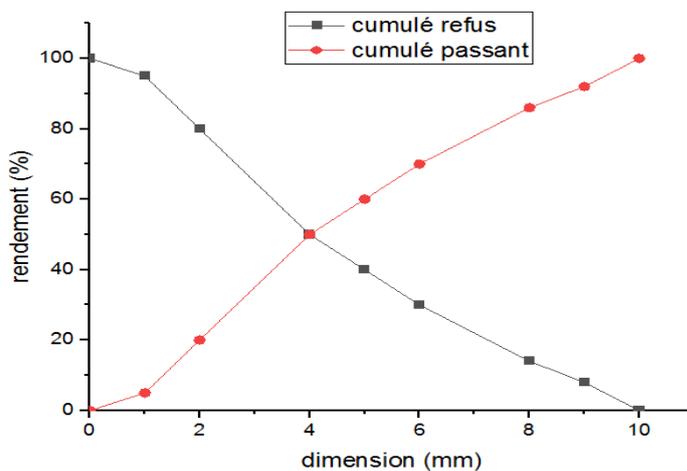


Figure 0.05: courbe de l'analyse granulométrique de produit N°8

Traçage de la caractéristique granulométrique du produit N°9 :

D'après la formule suivante on calcule les teneurs β_5 et β_8 :

$$B_9^{-d} = B_5^{-d} * E_2^{-L2} + (1 - B_5^{-L2} * E_2^{-L2}) * B_8^{-d}$$

$$E_2 = E_2^{-L2} = 0.83 \quad \text{et} \quad B_5^{-L2} = 19\% = 0.19$$

D'après les graphes 5 et 8 :

$B_5^{-12} = 100 - 81 = 19\%$	$B_8^{-12} = 100 - 0 = 100\%$
$B_5^{-10} = 100 - 84 = 16\%$	$B_8^{-10} = 100 - 8 = 92\%$
$B_5^{-8} = 100 - 86 = 14\%$	$B_8^{-8} = 100 - 30 = 70\%$
$B_5^{-6} = 100 - 91 = 9\%$	$B_8^{-6} = 100 - 40 = 60\%$
$B_5^{-4} = 100 - 94 = 6\%$	$B_8^{-4} = 100 - 80 = 20\%$

On calcule la teneur du produit N°9 :

$$B_9^{-d} = B_5^{-d} * E_2^{-L2} + (1 - B_5^{-L2} * E_2^{-L2}) * B_8^{-d}$$

$$B_9^{-12} = 0.19 * 0.85 + (1 - 0.19 * 0.85) * 0.98 = 1 = 100\%$$

$$B_9^{-10} = 0.16 * 0.835 + (1 - 0.19 * 0.85) * 0.92 = 0.90 = 90\%$$

$$B_9^{-8} = 0.14 * 0.85 + (1 - 0.19 * 0.85) * 0.70 = 0.71 = 71\%$$

$$B_9^{-6} = 0.09 * 0.85 + (1 - 0.19 * 0.85) * 0.60 = 0.58 = 58\%$$

$$B_9^{-4} = 0.06 * 0.85 + (1 - 0.19 * 0.85) * 0.20 = 0.21 = 21\%$$

A l'aide de ces valeurs on trace la caractéristique granulométrique du produit N°9

Tableau 0.08 : Caractéristique granulométrique de produit N°9.

Classes de la grosseur (mm)	Rendement partielle Y	Rendement de cumule refus ($\sum Y$)	Rendement de cumule passant ($\sum Y$)
-12 +10	10	10	100
-10 +8	19	29	90
-8 +6	13	42	71
-6 +4	37	79	58
-4 +0	21	100	21
Totale	100		

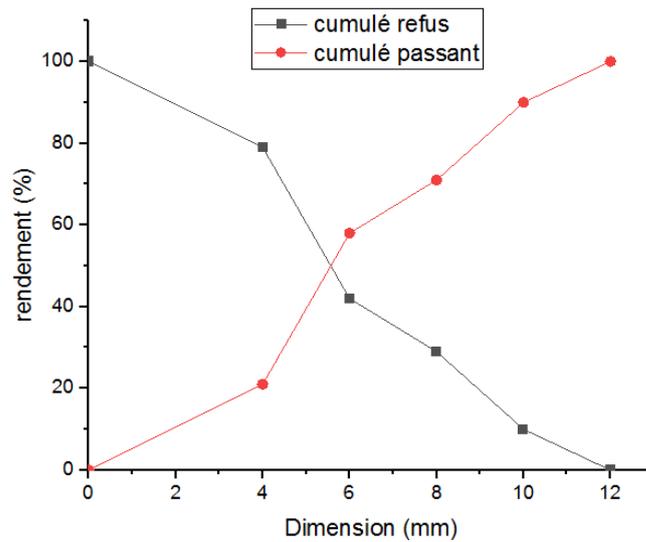


Figure 0.06: caractéristique granulométrique du produit N°9.

IV.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 :

- $B = (2d_1 + 100) \div 3d_1$; $B=1.5$
- $L = 2B$; $L=3$
- $S = B \times L$; $S=4.5 \text{ m}^2$

On a :

- $B = (2 \times 500 + 100) \div 1500 = 1,1 \div 1,5 \text{ (m)}$
- $L = 2 \times 1,1 \div 2 \times 1,5 = 2,2 \div 3 \text{ (m)}$

Donc la surface du crible est égale :

$$\text{▪ } S = 3 \times 1,5 = 4.5 \text{ m}^2$$

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

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

- Pour le deuxième étage :

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

$$Q = Q_5 = 208t/h$$

- q : on a : $L_2 = 12 \text{ mm}$; d'après l'annexe 14 :

$$3\text{mm} \rightarrow 7$$

$$\text{Alors : } 12 \rightarrow [(12*7)/3] = 28$$

$$q=28$$

$$L_2 = 12\text{mm} \rightarrow q = 10\text{m}^3 / \text{m}^2 * \text{h}$$

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

- k : on a : $\beta_5^{-1/2 L_2} = \beta_5^{-6} = 9\%$; d'après l'annexe 6 :

$$30\% \rightarrow 0,8$$

$$K = (9*0.8)/30 = 0.24$$

$$K=0.24$$

- l : on a : $\beta_5^{+L_2} = \beta_5^{+6} = 40\%$

$$40\% \rightarrow 1,03$$

$$L=1,03$$

- 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 :

$$F = 208 / 10 \times 1,75 \times 0,24 \times 1,03 \times 1,15 \times 1 \times 1 \times 1$$

$$F = 14.94 \text{ m}^2$$

$$F = \frac{208}{28 * 1.75 * 0.24 * 1.03 * 1.15 * 1 * 1 * 1} = 14.94 \text{m}^2$$

On détermine le nombre des cribles :

$$F=14.08$$

$$S=4.5$$

$$n = \frac{F}{S} = 14.08 / 4.5 = 3.12 \approx 3$$

Il faut prendre 3 cribles CIL 42

Tableau 0.09 : Les Caractéristiques technique des cribles choisis.

Type	Nombre	Surface (m ²)		Coefficient D'exploitation	Masse (t)		Puissance (KW)	
		L'un	Tous		L'un	Tous	L'un	Tous
CIL 42	3	4,5	9	$\frac{6,04}{9} = 0,67$	4,662	9,324	13	26

IV.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.

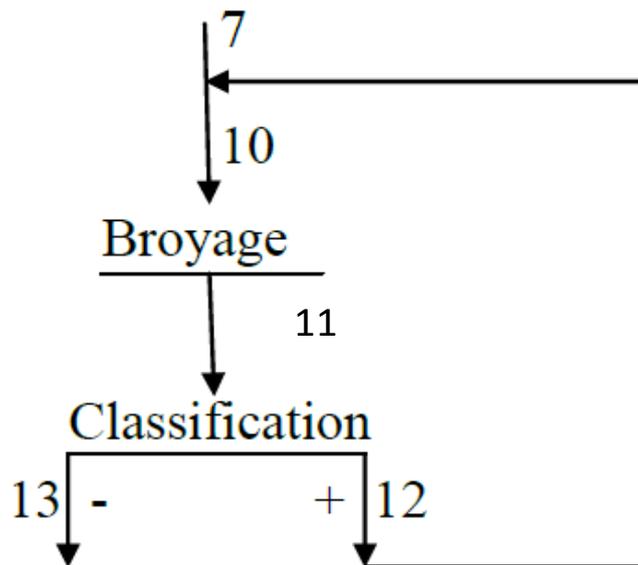


Figure 0.07 : Schéma de broyage et choix des équipements.

➤ **Détermination des poids des produits 7 ; 10 ; 11 ; 12 et 13**

1- On détermine les poids et les rendements des produits 7; 10; 11;12 et 13

Donc : $Q_7 = Q_{br} = Q_1 = 208 \text{ t / h}$; $Q_7 = Q_{br} = 208 \text{ t / h}$

2- La charge circulante pour un minerai dur est comprise

Entre (500 / 700) %

On fixe $C = 600 \%$ C : charge circulante

Donc : $Q_{12} = C * Q_7 = 6 * 208 = 1248 \text{ t/h}$

- $Q_{10} = Q_7 + Q_{12} = 208 + 1248 = 1456 \text{ t/h}$
- $Q_{11} = Q_{10} = 1456 \text{ t/h}$
- $Q_{13} = Q_{11} - Q_{12} = 1456 - 1248 = 208 \text{ t / h} = Q_1$
- ✓ $\gamma_7 = Q_7 / Q_1 * 100 = 208 / 208 * 100 = 100\%$
- ✓ $\gamma_{10} = Q_{10} / Q_1 * 100 = 1456 / 208 * 100 = 700\%$
- ✓ $\gamma_{12} = Q_{12} / Q_1 * 100 = 1248 / 208 = 600\%$
- ✓ $\gamma_{13} = Q_{13} / Q_1 * 100 = 208 / 208 = 100\%$

➤ **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
- K_d : Coefficient prenant en considération la distinction en diamètres de broyeur calculé et broyeur étalon
- K_t : 1,1 – 1,15
 - Donc : $q_e = 1$

$$K_b = 1$$

$$K_t = 1,13$$

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

$$M_e : \text{rendement relatif de broyeur lors des conditions étalons} = 0,6$$

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

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

$$D_e : \text{diamètre nominal de broyeur étalon} = 2,7 \text{ m}$$

$$K_{D1} = \frac{\sqrt{D1-0,15}}{\sqrt{D_e-0,15}} = \frac{\sqrt{4-0,15}}{\sqrt{2,7-0,15}} = 1.23$$

$$K_{D2} = \frac{\sqrt{D2-0,15}}{\sqrt{D_e-0,15}} = \frac{\sqrt{3,6-0,15}}{\sqrt{2,7-0,15}} = 1.17$$

$$K_{D3} = \frac{\sqrt{D3-0,15}}{\sqrt{De-0,15}} = \frac{\sqrt{4,5-0,15}}{\sqrt{2,7-0,15}} = 1,3$$

Broyeur 1 : à barres à déchargement centrale ; $D_1L_1=4000 \times 5500$

Broyeur 2 : à boulets à déchargement centrale ; $D_2L_2=3600 \times 5500$

Broyeur 3 : à boulets et à grille ; $D_3L_3=4500 \times 5000$

Donc :

$$q_{d1} = 1 \times 1 \times 1,53 \times 1,21 \times 1,13 = 2,09$$

$$q_{d2} = 1 \times 1 \times 1,53 \times 1,17 \times 1,13 = 2,02$$

$$q_{d3} = 1 \times 1 \times 1,53 \times 1,3 \times 1,13 = 2,25$$

- ✓ 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 :

$$Q = Q_{13} (B_F - B_m) = 208(0,75-0,12) = 131,04 \text{ t/h}$$

- ✓ on détermine les volumes des broyeurs :

$$V_{t1} = \frac{Q}{q_{D1}} = \frac{131,04}{2,09} = 62,70 \text{ m}^3 \quad ; \quad V_{t2} = \frac{Q}{q_{D2}} = \frac{131,04}{2,02} = 64,87 \text{ m}^3; \quad V_{t3} = \frac{Q}{q_{D2}} = \frac{131,04}{2,25} = 58,2 \text{ m}^3$$

- ✓ On calcule nombre de broyeur nécessaire :

$$*N_{b1} = V_{t1}/V_{b1} = 62,70/49 = 1,20 \approx 1$$

$$*N_{b2} = V_{t2}/V_{b2} = 64,87/32 = 1,91 \approx 2$$

$$*N_{b3} = V_{t3}/V_{b3} = 58,2/17,5 = 3,13 \approx 3$$

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

Tableau 0.10 : Caractéristiques technique des broyeurs choisis.

Type	Nombre des broyeurs		Coefficient D'exploitation	Poids (t)		Puissance (KW)	
	D'après calcul	Il faut installer		L'un	Tous	L'un	Tous
A barres 4000×5500	7,45	1	$\frac{7,45}{8} = 0,93$	242	1936	1600	12800
A boulets 3600×5500	9.28	2	$\frac{9,28}{10} = 0,92$	154,9	1549	1250	12500
A boulets et grille 4500×5000	5,96	3	$\frac{5,96}{6} = 0,99$	300,8	1804,8	2500	15000

IV.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)

$$D = -0,07 + 0,11 \sqrt{\frac{Q_d}{m \cdot a \cdot b}} \text{ [m]}$$

D : diamètre de la spirale en mètre

m : nombre de spirale

a : correction de la grosseur du débordement

b : diamètre de densité du matériau

Q_d : quantité de solide dans un débordement de chaque classification

$$\text{On a } Q_d = \frac{Q_{13.24}}{n} = \frac{208}{2} = 249,6 \text{ t/j}$$

$$m=2$$

$$a=1$$

$$b=1$$

Donc : Le diamètre est égale

$$D = -0,07 + 0,11 \sqrt{\frac{2496}{2.1.1}} = 3,81 [\text{m}] = 3810 \text{ mm}$$

On installe un classificateur à spirales immergées

Tableau 0.11 : Caractéristiques de classificateur (Type : 1 CSI20).

<p>Type : 1 CSI20</p> <ul style="list-style-type: none"> * Nombre de spirales : 1 * Diamètre de la spirale : 2000 mm * dimension de la cuve (en mm) <ul style="list-style-type: none"> • Largeur : 13000 mm • Longueur : 3500 mm * Vitesse de rotation des spirales (2,5 -5) tr / mm * Puissance des moteurs électriques, KW : <ul style="list-style-type: none"> • Pour une commande des spirales : 6,5-10 • Pour une montée des spirales : 4,5 <p>-masse sans équipement électriques : 30,9</p>

IV.2.8. Mise En Règle 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 :

Tableau 0.12 :choix d'équipement de concassage et de broyage.

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 9×12 ; B = 700 mm	2	60	100	S = 130 mm
2	CCCI 1750 B ; B = 250 mm	2	46,9	160	S = 25–60 mm
3	Broyeur à barres 4500×6000	2	242	1600	V= 12,9 tr/min

- ✓ 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 :

$$P = (100 \times 2) + (160 \times 2) + (160 \times 6) + (1600 \times 8)$$

$$P = 200 + 320 + 960 + 12800$$

$$P = 14280 \text{ KWR}$$

IV.3. Echantillonnage :

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 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.

IV.3.1. Prélèvement des échantillons :

Les échantillons de fer étudiés proviennent du quartier chagura-sud, Le tout-venant ayant des différentes subit un traitement mécanique préalable : criblage, homogénéisation, concassage, broyage, quartage, afin d'obtenir un échantillon représentatif de 5000 g.

Les lots d'échantillons sont étiquetés et stockés dans des sacs en plastiques doubles puis envoyés vers les laboratoires(laboratoire centrale) du complexe sider EL hadjar pour leurs préparations, une détermination préalable de la teneur moyenne en éléments majeurs (fer), ainsi la fluorescence X.

Une partie du lot est envoyés vers le laboratoire de science et de la terre a l'université d'Annaba, pour la préparation des sections poulies et les soumettre aux observations microscopiques.

Une autre étude basée sur le MEB (Microscope électronique Balayage) et du rometres. les résultats sont obtenus au niveau de' École Nationale Supérieure des Mines et Métallurgie d'Annaba.

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.

IV.3.2. Préparations des échantillons :

Après qu'ils ont subis un concasseur a mâchoire de type laboratoire, jusqu'a moins de 10 mm, les échantillons sont homogénéisés avant leur broyage par un broyeur à boulets de type laboratoire.

Le produit issu broyage est d'une granulométrie de $<80\mu\text{m}$ suit d'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 tests de séparations minéralurgiques.

IV.3.3. Quartage :

Le quartage a pour objet d'assurer une meilleure représentativité de l'échantillon, il est procédé par l'homogénéisation de minerais. Il consiste à avoir un cône régulier au moyen d'une pelle, qu'on transforme sous forme de galette plate de contour plus au moins circulaire. Cette galette est ensuite partagée en quatre (04) quarts égaux .

IV.4. Analyse granulométrique :

Pour la composition granulométrique du minerai, après les différents stades de fragmentations, on procède à l'analyse de tamisage. L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains appelées fractions granulométriques constituant les échantillons. Ces fractions sont constituées de particules dont la grosseur couvre un intervalle relativement restreint et diminue d'une fraction à l'autre. Il existe plusieurs méthodes d'analyse granulométrique. Parmi ces méthodes, la méthode de tamisage éventuellement utilisée dans notre présente étude, couvrent la presque totalité des gammes de grosseurs de particules visées. De plus, elles permettent la récupération d'échantillons séparés en fonction de la taille des particules.

Le principe d'analyse consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le minerai étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par le mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, de la colonne de tamis à l'aide d'une tamiseuse.

Pour les minerais ferrifères, on utilisera en général les tamis de dimensions : 10 mm ; 5 mm ; 3,15 mm ; 2 mm ; 1,25 mm ; 0,310 mm ; 0,200 mm ; 0,125 mm ; 0,080 mm < 0,075 mm.

IV.4.1. Description de l'essai :

On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fines. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

L'échantillon étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture, dans notre essai il est fixé à 15 minutes. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé.

Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_n aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne du tamis est également pesé de la même manière.



Fig.IV.8. Tamiseuse électro-vibrante

Expression des résultats de la courbe granulométrique : Les pourcentages des refus ou des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe est tracée de manière continue et n'est pas obligatoirement passer par tous les points.

Les résultats de la composition granulométrique sont représentés dans le tableau suivante.

Tableau. IV.13. Résultats d'analyse granulométrique

D (mm)	Poids (g)	Partiel (%)	Refus	Passant
10	6,6	0,85	0,85	100
+10 -5	190,9	24,71	25,66	99,15
+5 -3,15	237,8	50,78	55,94	77,44
+3,15 - 2	91,19	11,80	68,14	43,66
+2 -1,25	88,7	11,48	79,62	31,86
+1,25 -0,310	127	16,44	96,06	20,38
+0,310 -0,200	14,6	1,89	97,95	3,95
+0,200 -0,125	9,7	1,255	99,20	2,05
+0,125 -0,080	3,9	0,5	99,70	0,8
+0,080 <0,080	2,3	0,3	100	0,3
Total	772,69	100	----	----

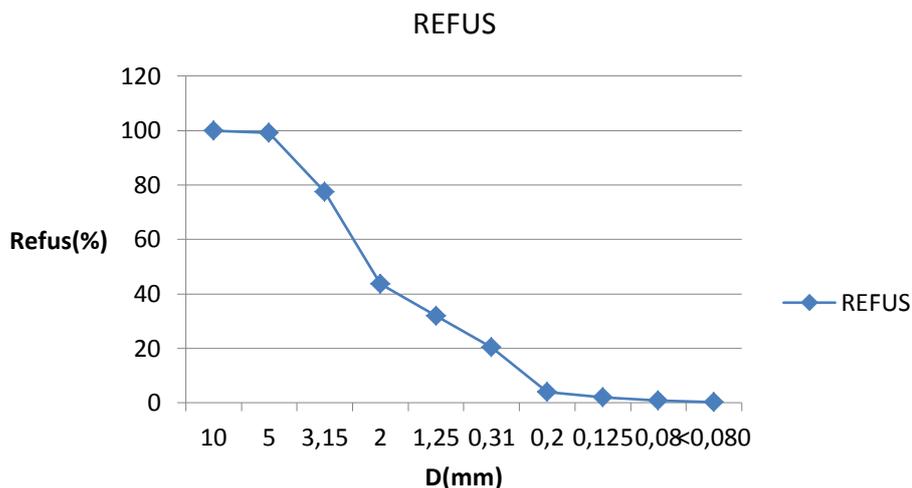


Fig. IV.9. graphe d'analyse granulométrique de refus

IV.5. Technique d'analyse utilisée :

La détermination des éléments et des oxyde dans la matière première est nécessaire pour définir la qualité de cette dernière et pour l'amé autre éléments afin d'avoir une fonte conforme. La technique utilisée au niveau du laboratoire est divisé en deux parties, l'une l'analyse spectrale par voie sèche et l'autre est une analyse humide.

IV.5.1. L'analyse spectrale par voie sèche :

IV.5.1.1. Analyse par fluorescence X :

La machine détermine les % de la teneur de chaque élément de notre échantillon à partir d'un échantillon de matière première, puis se déplace dans un porte échantillon ou elle sera bombardée par RX.

Cette analyse concerne la matière non métallique qui est dans notre cas le minerai.

Le principe :

La spectroscopie de fluorescence X est basée sur l'interaction d'un rayonnement X avec les atomes constituant la matière. Les rayons X utilisés sont de longueur comprises entre quelques dixièmes et quelque dizaines d'Angstrom. Comme ces longueur d'ondes ont de l'ordre de la taille d'un atome, les interaction avec les atome sont relativement fortes. Elles se produisent avec les électrons fortement liés des atomes (couche profondes K, L, M,), et elles conduisent à l'expulsion de ces électrons (ionisation) par effet photo électrique, ainsi qu'à la réorganisation interne des électrons, responsable de l'émission d'un rayonnement caractéristique des atomes étudiés, qui va permettre de les identifier (aspect qualitatif) : c'est le phénomène de

fluorescence X. La mesure de l'intensité des raies caractéristiques vaquant à elle permettre de déterminer la composition centésimale (aspect quantitatif).

IV.5.1.2. Procédé de déroulement de l'analyse :

Préparation de la perle :

0,6g de l'échantillon du minerai de fer pauvre à analyser est pesé, puis mélangé à 6g de tétra borate de dit lithium (utilisé comme fondant), ensuite on ajoute 0,3 g d'iodure de sodium (éviter que la perle ne colle à la nacelle lors du moulage).

Ce mélange est introduit dans un creuset en platine, soigneusement mélangé, (afin d'assurer une meilleure homogénéisation). L'ensemble est mis dans le four pendant 12minutes à 1150°C pour fusion. Ensuite ,on verse le contenu du creuset dans une nacelle en platine , on laisse refroidir, puis on décolle la perle obtenu

IV.5.2. Analyse volumétrique (voie humide) :

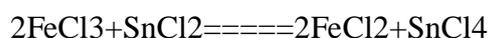
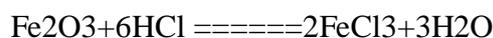
Cette analyse concerne les matières métallique , dans notre cas c'est la minerai

IV.5.2.1.titrage volumétrique du fer total :

La méthode est applicable à tout échantillon minéral de teneur en fer supérieure à 5 % et teneur en cuivre inférieur à 0,1% .La dissolution du métal (fer) est obtenue par réaction avec l'acide chlorhydrique (à2%).

Principe :

Réduction de Fe^{3+} par $SnCl_2$:



Elimination de l'excès de chlorure Stanneux par addition de chlorure mercurique :



Oxydation quantitative de Fe^{2+} obtenu par une solution titrée de $K_2Cr_2O_7$ en présence de diphenylalaine de baryum comme indicateur :

Réactifs :

Solution d'acide chlorhydrique (HCl)

Solution de chlorure Stanneux($SnCl_2$)

Solution de chlorure mercurique ($HgCl_2$)

Solution de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$)

Mode opératoire :

Introduire la prise d'essai (0,6g de laitier ou bien 0,1g de manierais),dans un erlenmeyer , dans un erlenmeyer, et faire la mise en solution par l'acide chlorhydrique HCL (25ml),après agitation ,chouffer sur une plaque chauffante à l'intérieur à l'une hôte d'aspiration jusqu'à l'ébullition .

Lorsque l'attaque est terminée , découvrir l'erlenmeyer ,diluer légèrement avec un jet de pissette et porte l'ébullition .

On remue de temps à autre l'homogénéité de la solution .On aura un sel de couleur jeune .

Diluer à l'eau distillée environ 150 ml, ensuite réduire le fer (FeCl_3) de coloration jaune par SnCl_2 en agitant jusqu'à décoloration .

Laisser refroidir , et on ajoute la solution HgCl_2 pour réduire l'excès de SnCl_2 (10ml) .

On dilue encore le mélange avec de l'eau distillée jusqu'à 100ml ,puis on ajoute 20 ml de la DIPH .

Ala fin on titre avec $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ jusqu'au virage au violet.

Le pourcentage du fer dans l'échantillons est donné à partir de l'équation de l'équilibre comme suit :

$$\text{Fe}\% = T \cdot V.$$

Fe%=pourcentage de fer

T :titre de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en g de fer /ml (g/ml).

V :Volume de $\text{k}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ utilise pour le dosage ml.

$$\text{Fe}\% = 10.3,5$$

$$\text{Fe}\% = 35\%$$

Tableau. IV.14. RESULTAT de l'échantillon (Fe_2O_3)

Elément	MOYEN
FeT	35
Cao	8,03
Sio ₂	0,92
Mago	0,92

Al ₂ O ₃	0,6
Mno	1,6
P ₂ O ₅	0,001
BM	95,102
IB	1,49
LOlcalc	21,22
Cuo	1,36
Cr ₂ O ₃	0,01
K ₂ O	0,039
Na ₂ O	1,124
SO ₃	0,01
TiO ₂	0,08
ZnO	0,045

IV.6. Microscopie Electronique à Balayage (MEB)

Est couplé à une microanalyse chimique EDX Le Microscopie Electronique à Balayage (MEB) est une technique d'analyse des minéraux basée sur le principe des interactions électrons-matière. Il consiste à un faisceau d'électrons balayant la surface de l'échantillon analysé, qui réémet différents types de particules. Il permet d'obtenir des images en haute résolution de la surface d'un échantillon et donner un diffractogramme (EDX) qui prouve les éléments chimiques contenant dans la surface scannée.

Pour la caractérisation de l'échantillon initial (avant le tamisage), une pastille de taille (2 - 4mm) a été préparée puis observée par microscope électronique à balayage (MEB) de type « SEM7001F ». Ce dernier globale, qui a permis d'identifier la composition chimique. La micrographie des particules minérales obtenue est d'une échelle d'environ 10-40 µm.

Deux observations sont réalisées sur l'échantillon initial de L'ouenza, les résultats sont illustrés dans les figures 1). Cette observation, a montré la composition à l'échelle microscopique en différents éléments tels que Fe, O, Si, Al et Ca. En ce qui concerne

l'oxygène, sa présence pertinente revient au fait qu'il intervient dans la composition du Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂.

Selon les diffractogrammes de l'EDX des deux surfaces scannées par le MEB (Figure 2), on observe la présence de Fe et O se trouvant dans la composition des

oxydes de fer. La présence de Si, Al et K avec un taux élevé prouve la présence des argiles parmi les composants essentiels de ce minerai. Les pics de Mg et Ca expliquent la présence minimale des carbonates

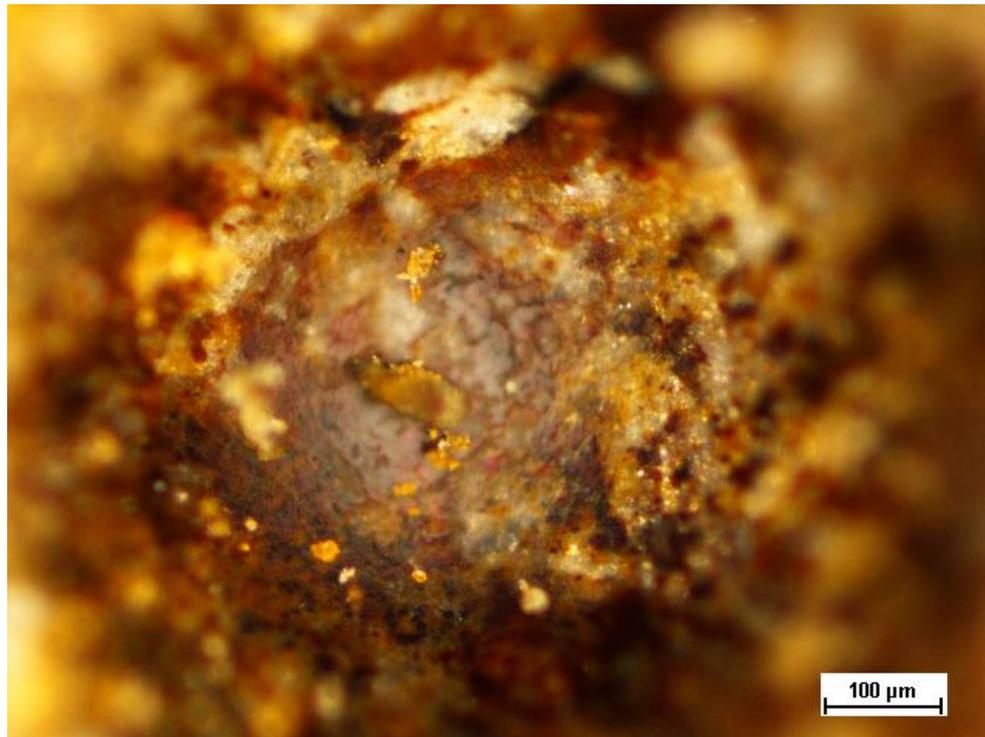


Fig. IV.10 : Première observation du minerai de fer par le MEB

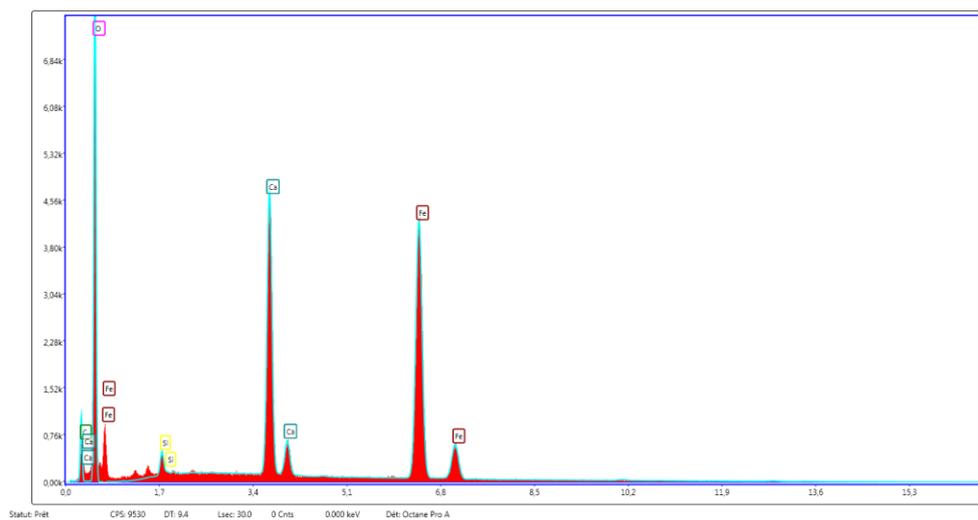


Fig. IV.11. Diffractogramme de l'analyse par EDX de la 1ère observation

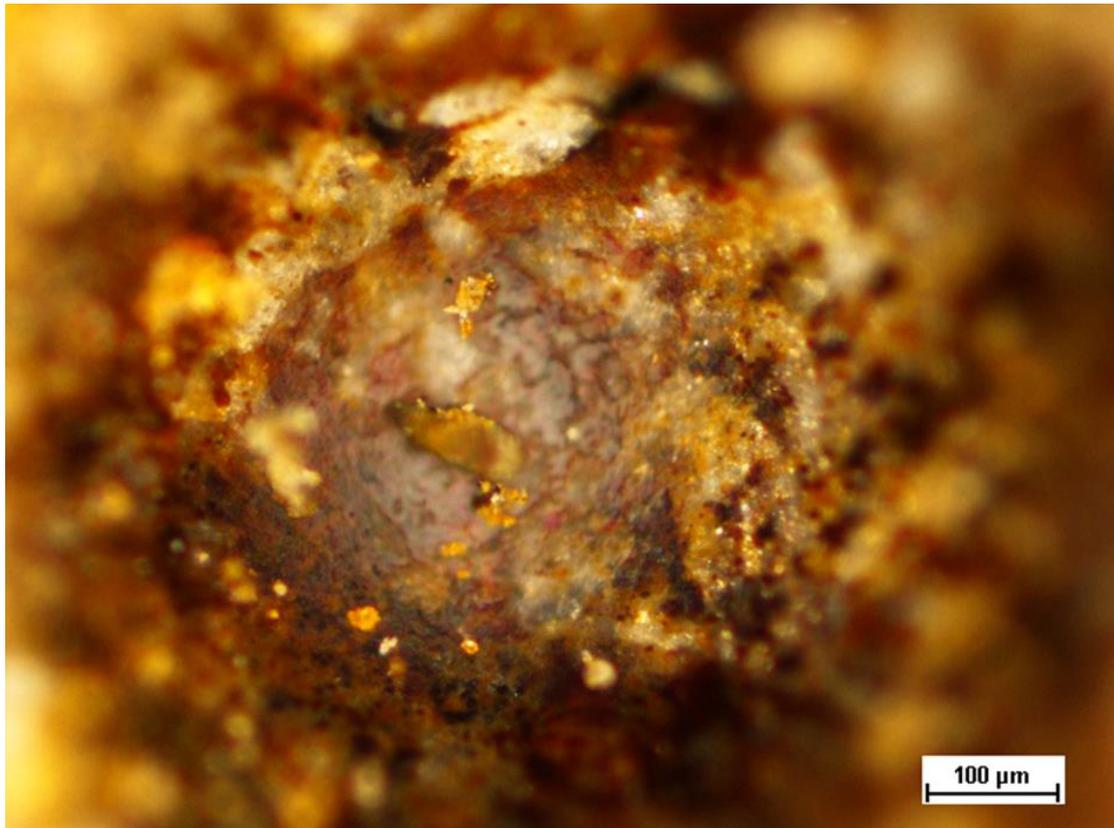


Fig .IV.12.Deuxième observation du minerai de fer par le MEB

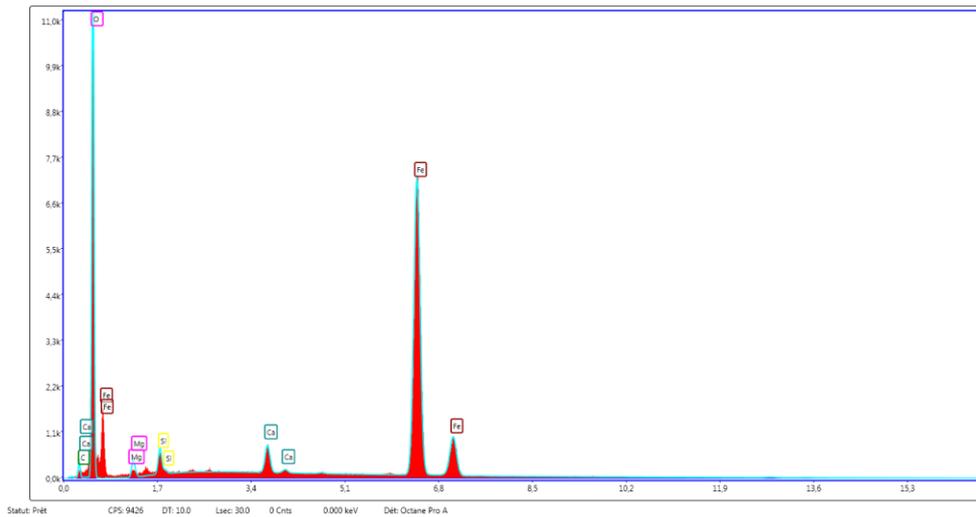


Fig. IV.13.Diffractogramme de l'analyse par EDX de la 2eme observation

IV.7. Schéma de traitement :

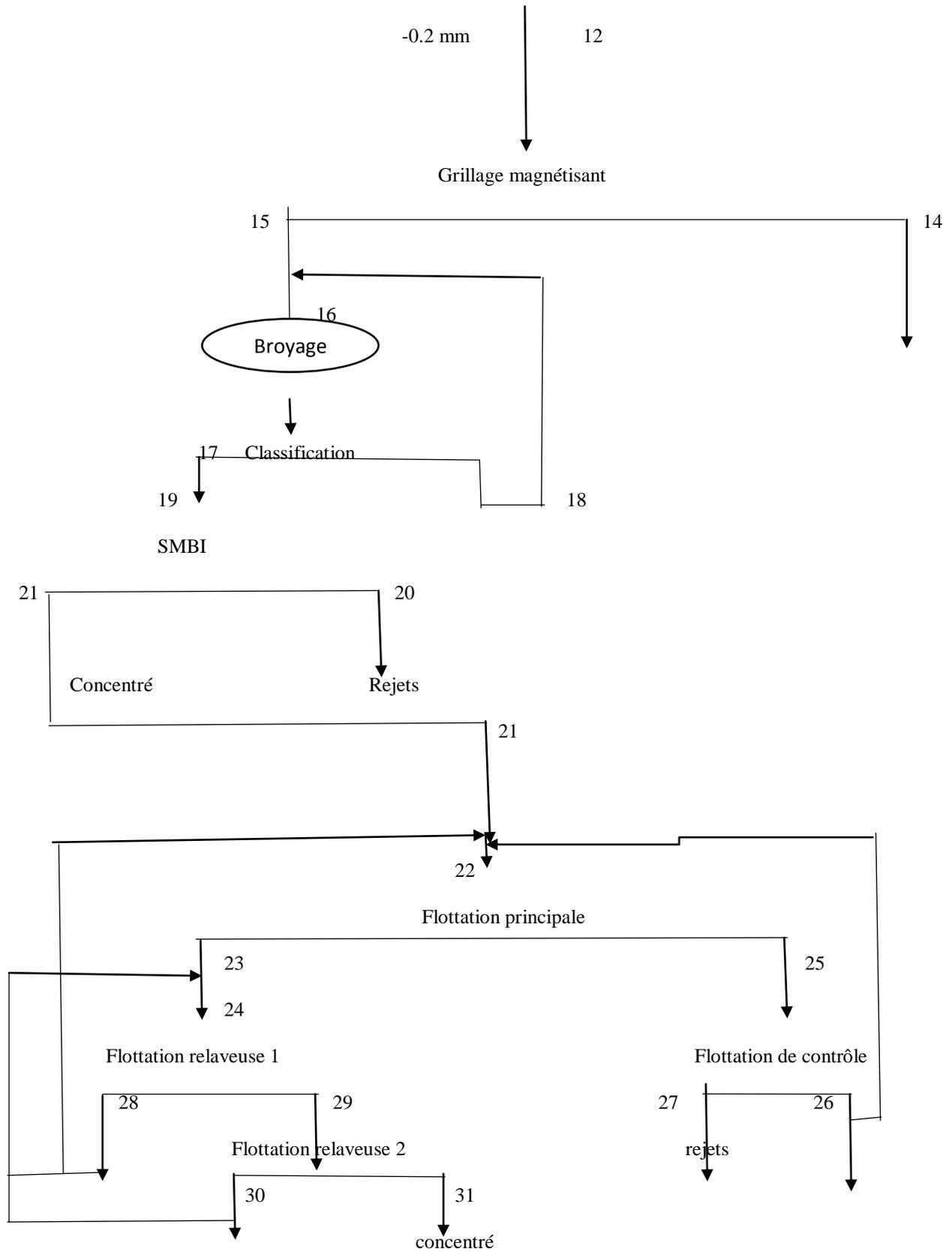


Figure 0.14 : Schéma de traitement.

IV.7.1. Donnée de départ :

- * On à : $\gamma_{13}= 100\%$; $Q_{13}= 208 \text{ t/h}$; $\beta_{13}=36\%$; $\beta_{14}= 2\%$; $\beta_{21}= 42\%$;
 $\epsilon_{13}=100\%$; $\gamma_{14}= 3\%$; $\gamma_{20} = 15\%$

IV.7.2. Calcul des rendements :

- $\gamma_{15}=\gamma_{13} - \gamma_{14}= 100-3= 97\%$
- $\gamma_{16} = \gamma_{15}+ \gamma_{18}= 97+ 87 = 194\%$
- $\gamma_{16} = \gamma_{17}=194\%$
- $\gamma_{18}= 97\%$ à cause de la charge circulante N° 1
- $\gamma_{19}=\gamma_{15}=97\%$
- $\gamma_{20}=15\%$
- $\gamma_{21}=\gamma_{19} - \gamma_{20} = 97 - 15 \quad ; \gamma_{21} = 82\%$

IV.7.3. Calcul des teneurs en Fe_2O_3 :

- * $\beta_{13}=36\%$; $\beta_{14}= 2\%$; $\beta_{21}= 42\%$
- * $\beta_{13}\gamma_{13}= \beta_{15} \gamma_{15} + \beta_{14}\gamma_{14}$
- * $\beta_{15}= \beta_{13}\gamma_{13}-\beta_{14}\gamma_{14}/ \gamma_{15}$
- * $\beta_{15}=37.05\%$
- * $\beta_{15}= \beta_{16}= \beta_{17}= \beta_{18}= \beta_{19}=37.05\%$
- * $\beta_{20}=\gamma_{19} \times \beta_{19}-\gamma_{18} \times \beta_{18} / \gamma_{20}$
- * $\beta_{20}=9.99\%$

IV.7.4. Calcul des débits :

D'après la formule suivante

$$\gamma_n = \frac{Q_n}{Q_i} \cdot 100 \quad \Rightarrow Q_n = \frac{\gamma_n}{100} \cdot Q_i$$

$$Q_{20} = \frac{\gamma_{20}}{100} \cdot Q_i = \frac{15 \cdot 208}{100} = 31.2 Q_{20} = 31.2 \text{ t/h}$$

$$Q_{21} = Q_{19} - Q_{20} = 208 - 31.2 = 176.8 \quad Q_{21} = 176.2 \text{ t/h}$$

$$Q_{15} = \frac{\gamma_{15}}{100} \cdot Q_i = \frac{97 \cdot 208}{100} = 201.76 Q_{15} = 201.76 \text{ t/h}$$

$$Q_{16} = \frac{\gamma_{16}}{100} \cdot Q_i = \frac{194 \cdot 208}{100} = 403.52 \text{ t/h} \quad Q_{16} = 403.52 \text{ t/h}$$

$$Q_{17} = Q_{16} = 403.52 \text{ t/h}$$

$$Q_{18} = Q_{15} = 201.76 \text{ t/h}$$

$$Q_{19} = Q_{20} = 31.2 \text{ t/h}$$

IV.7.5. Calcul des poids de fer dans chaque produit :

D'après la formule suivante

$$P_n = Q_n \cdot \frac{\beta_n}{100}, \text{ t/h}$$

$$P_{15} = Q_{15} \cdot \frac{\beta_{15}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{15} = 201.76 \cdot \frac{37.05}{100} = 74.75 \text{ t/h}$$

$$P_{16} = Q_{16} \cdot \frac{\beta_{16}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{16} = 403.52 \cdot \frac{37.05}{100} = 149.50 \text{ t/h}$$

$$P_{17} = P_{16} = 149.50$$

$$P_{18} = P_{15} = 74.75 \text{ t/h}$$

$$P_{19} = Q_{19} \cdot \frac{\beta_{19}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{19} = 31.2 \cdot \frac{37.05}{100} = 11.55 \text{ t/h}$$

$$P_{20} = Q_{20} \cdot \frac{\beta_{20}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{20} = 31.2 \cdot \frac{10}{100} = 3.12 \text{ t/h}$$

$$P_{21} = Q_{21} \cdot \frac{\beta_{21}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{21} = 176.2 \cdot \frac{42}{100} = 74 \text{ t/h}$$

IV.7.6. Calcul de degré d'extraction:

$$\varepsilon_{14} = \frac{\gamma_{14} \cdot \beta_{14}}{\beta_1} = \frac{3 \cdot 2}{36} \varepsilon_{14} = 0.1 \%$$

$$\varepsilon_{15} = \frac{\gamma_{15} \cdot \beta_{15}}{\beta_1} = \frac{97 \cdot 37.05}{36} \varepsilon_{15} = 99.82 \%$$

$$\varepsilon_{16} = \frac{\gamma_{16} \cdot \beta_{16}}{\beta_1} = \frac{194 \cdot 37.05}{36} \varepsilon_{16} = 199.65 \%$$

$$\varepsilon_{17} = \varepsilon_{16} = 199.65 \%$$

$$\varepsilon_{15} = \varepsilon_{19} = 99.82\%$$

$$\varepsilon_{20} = \frac{\gamma_{20} \cdot \beta_{20}}{\beta_1} = \frac{15 \cdot 10}{36} \quad \varepsilon_{20} = 4.16 \%$$

$$\varepsilon_{21} = \frac{\gamma_{20} \cdot \beta_{20}}{\beta_1} = \frac{82 \cdot 42}{36} \varepsilon_{21} = 95.66\%$$

IV.8.1. Détermination de nombre d'indice de départ nécessaire et suffisants :

$$N = C (1 + M_s - A_s) - 1$$

Ou :

C : Nombre des produit séparaes (concentré + rejet) = 2

M_s : Nombre de composants du calcul = 8

A_s : Nombre de d'opérations des séparations = 4

$$N = 2(1+8-4)-1 = 9$$

IV.8.2. Détermination de nombre d'indice de départ se rapportant aux produits de traitement :

$$M_n = C (M_s - A_s) = 2(8-4) = 8$$

IV.8.3. Calcul de nombre d'extraction :

Qui peut être calculé à l'aide de la formule suivante $N_e = M_s - A_s = 8-4 = 4$

IV.8.4. Calcul de nombre d'indice de teneur :

$$M_n = N_e + N_B + N_Y$$

N_Y = 0 parce que n'entrant pas indices de départs

$$N_B = M_n - N_e = 8-4 = 4$$

On suppose que les valeurs obtenus après séparation, bien sûr vu le degré d'extraction d'une séparation varie de 3% à 4% généralement :

$$B_{21} = 42 \% ; \gamma_{21} = 42 \% ; \beta_{25} = 25 \% ; \gamma_{25} = 30 \% ; \beta_{30} = 48 \% ; \gamma_{30} = 15 \% ; \beta_{31} = 50 \% ; \beta_{23} = 45 ; \gamma_{31} = 65 \% ; \beta_{29} = 44.$$

IV.8.5. Détermination des teneurs et rendements des produits:

$$\gamma_{31} = 65\% ; \gamma_{21} = 82\%$$

➤ Calcul du rendement de produit 27

$$\gamma_{21} = \gamma_{31} + \gamma_{27} \quad \gamma_{27} = \gamma_{21} - \gamma_{31} = 82 - 65 = 17\%$$

□ □ Teneur en minéral utile dans le produit 27 :

$$\gamma_{21} \beta_{21} = \gamma_{31} \beta_{31} + \gamma_{27} \beta_{27}$$

$$\beta_{27} = \frac{\gamma_{21} \beta_{21} - \gamma_{31} \beta_{31}}{\gamma_{27}} = \frac{82 \cdot 42 - 65 \cdot 50}{17} = 11.41\%$$

$$\beta_{27} = 11.41\%$$

➤ Calcul du rendement de produit 29 :

$$\gamma_{29} = \gamma_{30} - \gamma_{31} = 15 + 65 = 80\%$$

➤ Teneur en minéral utile dans le produit 30 :

$$\gamma_{29} \beta_{29} = \gamma_{30} \beta_{30} + \gamma_{31} \beta_{31}$$

$$\beta_{30} = \frac{\gamma_{29} \beta_{29} - \gamma_{31} \beta_{31}}{\gamma_{30}} = \frac{80 \cdot 44 - 65 \cdot 50}{15} = 18\%$$

$$\beta_{30} = 18\%$$

➤ Calcul du rendement de produit 26 :

$$\gamma_{26} = \gamma_{25} - \gamma_{27} = 30 - 17 = 13\%$$

$$\gamma_{26} = 13\%$$

➤ Teneur en minéral utile dans le produit 26 :

$$\gamma_{25} \beta_{25} = \gamma_{27} \beta_{27} + \gamma_{26} \beta_{26}$$

$$\beta_{26} = \frac{\gamma_{25} \beta_{25} - \gamma_{27} \beta_{27}}{\gamma_{26}} = \frac{30 \cdot 25 - 17 \cdot 11.41}{15} = 42.81\%$$

$$\beta_{26} = 42.81\%$$

➤ Calcul du rendement de produit 24 :

$$\gamma_{24} = \gamma_{28} + \gamma_{29} = 70 + 8 = 78\%$$

➤ Calcul du rendement de produit 26 :

$$\gamma_{23} = \gamma_{24} - \gamma_{28} = 150 - 70 = 80\%$$

➤ Teneur en minéral utile dans le produit 26 :

$$\gamma_{29} \beta_{29} = \gamma_{30} \beta_{30} + \gamma_{31} \beta_{31}$$

$$\beta_{30} = \frac{\gamma_{29} \beta_{29} - \gamma_{31} \beta_{31}}{\gamma_{30}} = \frac{80 \cdot 44 + 65 \cdot 50}{165} = 18\%$$

$$\beta_{26} = 18\%$$

➤ Calcul du rendement de produit 22 :

$$\gamma_{22} = \gamma_{21} + \gamma_{26} + \gamma_{28} = 82 + 13 + 70 = 165\%$$

➤ Teneur en minéral utile dans le produit 26 :

$$\gamma_{24} \beta_{24} = \gamma_{23} \beta_{23} + \gamma_{30} \beta_{30}$$

$$\beta_{24} = \frac{\gamma_{23} \beta_{23} - \gamma_{30} \beta_{30}}{\gamma_{24}} = \frac{40 \cdot 80 + 145 \cdot 18}{150} = 25.8\%$$

$$\beta_{24} = 25.8\%$$

➤ Teneur en minéral utile dans le produit 22 :

$$\gamma_{22} \beta_{22} = \gamma_{21} \beta_{21} + \gamma_{26} \beta_{26} + \gamma_{28} \beta_{28}$$

$$\beta_{22} = \frac{\gamma_{21} \beta_{21} + \gamma_{26} \beta_{26} + \gamma_{28} \beta_{28}}{\gamma_{22}} = \frac{42 \cdot 80 + 13 \cdot 42.81 + 70 \cdot 5}{165} = 26.36\%$$

$$\beta_{26} = 26.36\%$$

➤ Teneur en minéral utile dans le produit 28:

$$\gamma_{28} \beta_{28} = \gamma_{24} \beta_{24} - \gamma_{29} \beta_{29}$$

$$\beta_{28} = \frac{\gamma_{24} \beta_{24} - \gamma_{29} \beta_{29}}{\gamma_{28}} = \frac{150 \cdot 25.8 - 80 \cdot 44}{70} = 5\%$$

$$\beta_{28} = 5\%$$

IV.8.6. Calcul de la productivité de chaque produit :

D'après la formule suivante

$$\gamma_n = \frac{Q_n}{Q_i} \cdot 100 \Rightarrow Q_n = \frac{\gamma_n}{100} \cdot Q_i$$

$$Q_{21} = \frac{\gamma_{21}}{100} \cdot Q_i = \frac{82 \cdot 208}{100} = 170.56; Q_{21} = 170.56 \text{ t/h}$$

$$Q_{22} = \frac{\gamma_{22}}{100} \cdot Q_i = \frac{165 \cdot 208}{100} = 343.2; Q_{22} = 343.2 \text{ t/h}$$

$$Q_{23} = \frac{\gamma_{23}}{100} \cdot Q_i = \frac{80 \cdot 208}{100} = 166.4; Q_{23} = 166.4 \text{ t/h}$$

$$Q_{24} = \frac{\gamma_{24}}{100} \cdot Q_i = \frac{150 \cdot 208}{100} = 312; Q_{24} = 312 \text{ t/h}$$

$$Q_{25} = \frac{Y_{25}}{100} \cdot Q_i = \frac{30 \cdot 208}{100} = 62.4; Q_{25} = 62.4 \text{ t/h}$$

$$Q_{27} = \frac{Y_{27}}{100} \cdot Q_i = \frac{27 \cdot 208}{100} = 56.16; Q_{30} = 56.16 \text{ t/h}$$

$$Q_{28} = \frac{Y_{28}}{100} \cdot Q_i = \frac{70 \cdot 208}{100} = 145.6; Q_{28} = 145.6 \text{ t/h}$$

$$Q_{29} = Q_{23} = 166.4 \text{ t/h}$$

$$Q_{30} = \frac{Y_{30}}{100} \cdot Q_i = \frac{15 \cdot 208}{100} = 31.2; Q_{30} = 31.2 \text{ t/h}$$

$$Q_{31} = \frac{Y_{31}}{100} \cdot Q_i = \frac{65 \cdot 208}{100} = 135.2; Q_{31} = 135.2 \text{ t/h}$$

IV.8.7. Calcul des poids de fer dans chaque produit:

D'après la formule suivante

$$P_n = Q_n \cdot \frac{\beta_n}{100}, \text{ t/h}$$

$$P_{21} = Q_{21} \cdot \frac{\beta_{21}}{100}, \text{ t/h} \quad ; P_{21} = 170.56 \cdot \frac{42}{100}; P_{21} = 71.63 \text{ t/h}$$

$$P_{22} = Q_{22} \cdot \frac{\beta_{22}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{22} = 343.2 \cdot \frac{26.36}{100} P_{22} = 90.46 \text{ t/h}$$

$$P_{23} = Q_{23} \cdot \frac{\beta_{23}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{23} = 166.4 \cdot \frac{45}{100} P_{23} = 74.88 \text{ t/h}$$

$$P_{24} = Q_{24} \cdot \frac{\beta_{24}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{24} = 312 \cdot \frac{25.8}{100} P_{24} = 80.49 \text{ t/h}$$

$$P_{25} = Q_{25} \cdot \frac{\beta_{25}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{25} = 62.4 \cdot \frac{25}{100} P_{25} = 15.6 \text{ t/h}$$

$$P_{26} = Q_{26} \cdot \frac{\beta_{26}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{26} = 31.2 \cdot \frac{42.81}{100} P_{26} = 13.35 \text{ t/h}$$

$$P_{27} = Q_{27} \cdot \frac{\beta_{27}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{27} = 56.16 \cdot \frac{11.41}{100} P_{32} = 6.40 \text{ t/h}$$

$$P_{28} = Q_{28} \cdot \frac{\beta_{28}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{28} = 145.6 \cdot \frac{5}{100} P_{30} = 7.28 \text{ t/h}$$

$$P_{29} = Q_{29} \cdot \frac{\beta_{29}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{29} = 343.2 \cdot \frac{44}{100} P_{29} = 151 \text{ t/h}$$

$$P_{30} = Q_{30} \cdot \frac{\beta_{30}}{100}, \text{ t/h} \quad P_{30} = 135.2 \cdot \frac{18}{100} P_{30} = 24.33 \text{ t/h}$$

$$P_{31} = Q_{31} \cdot \frac{\beta_{31}}{100}, \text{ t/h} \qquad P_{31} = 135.2 \cdot \frac{48}{100} P_{31} = 64.89 \text{ t/h}$$

IV.8.8. Calcul de degré d'extraction :

$$\epsilon_{22} = \frac{\gamma_{21} \cdot \beta_{21}}{\beta_{21}} = \frac{82 \cdot 26.36}{42} \qquad \epsilon_{22} = 51.46 \%$$

$$\epsilon_{23} = \frac{\gamma_{23} \cdot \beta_{23}}{\beta_{21}} = \frac{80 \cdot 45}{42} \qquad \epsilon_{23} = 85.71 \%$$

$$\epsilon_{24} = \frac{\gamma_{24} \cdot \beta_{24}}{\beta_{21}} = \frac{150 \cdot 25.8}{42} \qquad \epsilon_{24} = 92.14 \%$$

$$\epsilon_{25} = \frac{\gamma_{25} \cdot \beta_{25}}{\beta_{21}} = \frac{30 \cdot 25}{42} \qquad \epsilon_{25} = 17.85 \%$$

$$\epsilon_{26} = \frac{\gamma_{26} \cdot \beta_{26}}{\beta_{21}} = \frac{13 \cdot 42.81}{42} \qquad \epsilon_{26} = 13.25 \%$$

$$\epsilon_{27} = \frac{\gamma_{27} \cdot \beta_{27}}{\beta_{21}} = \frac{17 \cdot 11.41}{42} \qquad \epsilon_{27} = 4.61 \%$$

$$\epsilon_{28} = \frac{\gamma_{28} \cdot \beta_{28}}{\beta_{21}} = \frac{70 \cdot 5}{42} \qquad \epsilon_{28} = 8.33 \%$$

$$\epsilon_{29} = \frac{\gamma_{29} \cdot \beta_{29}}{\beta_{21}} = \frac{80 \cdot 44}{42} \qquad \epsilon_{29} = 83.80 \%$$

$$\epsilon_{30} = \frac{\gamma_{30} \cdot \beta_{30}}{\beta_{21}} = \frac{65 \cdot 50}{42} \qquad \epsilon_{30} = 77.38 \%$$

Produit	Q(T/h)	$\gamma(\%)$	$\beta(\%)$	$\epsilon(\%)$
1	208	100	45	100
2	93.2	18.84	-	-
3	168.8	81.84	-	-
4	168.8	13	-	-
5	208	100	-	-
6	540.8	260	-	-
7	208	100	-	-
8	332.8	160	-	-

9	332.8	160	-	-
10	1456	700	-	-
11	1456	700	-	-
12	1248	600	-	-
13	208	100	45	-
14	208	100	2	0.1
15	201.76	97	37.05	99.82
16	403.52	194	37.05	199.6
17	403.52	194	37.05	199.6
18	201.76	97	37.05	
19	31.2	97	37.05	99.82
20	31.2	15	9.99	4.16
21	170.56	82	42	95.66
22	343.2	165	26.36	51.46
23	166.4	80	45	85.71
24	312	150	25.8	92.14
25	62.4	30	25	17.85
26		13	42.81	13.25
27	56.16	17	11.41	4.61
28	145.6	70	5	8.33
29	166.4	80	44	8380
30	31.2	15	18	
31	135.2	65	50	

Conclusion :

La proposition d'un schéma technologique de traitement du minerai de fer de la mine de Ouenza comporte une préparation mécanique et un traitement par séparation magnétique précédé par un grillage magnétisant et un Flottation ;

Dans l'élaboration du schéma de la préparation mécanique, le calcul de ce dernier est réalisé en deux étapes :

1-un calcul préalable qui détermine approximativement les poids des produits et on établit les exigences qui déterminent le choix des concasseurs broyeur et classificateurs.

2-un calcul final à partir duquel on détermine les poids des produits en fonction des caractéristiques de la grosseur et des différents paramètres des équipements.

A partir des résultats du calcul, on a fait un choix des équipements nécessaire permettant d'obtenir une grosseur optimale des particules pour chaque stade.

Le schéma proposé répond aux besoins sur le plan de minerai et pour son traitement. La préparation mécanique comprend :

1-Deux stades de concassage avec un concasseur à mâchoire au 1^{er} étage avec un cycle ouvert et on installe un concasseur à cône à concassage intermédiaire dans le deuxième stade avec un cycle ferme.

2- deux étages de broyage avec deux classificateurs : le broyeur choisi est un broyeur à boulets à déchargement par grille suivi d'un classificateur.

Introduction

L'agglomération est un processus métallurgique qui transforme les fines de minerai de fer en un produit dit aggloméré suffisamment poreux et de dimensions granulométriques adaptées pour la charge du haut fourneau. Celui-ci consiste à l'agglomération des particules des mélanges des minerais, portées à température de début de fusion grâce à la chaleur fournie par le combustible solide (fines coke) mélangé au minerai de fer pour former le mélange d'agglomération.

L'agglomération est aussi un processus sidérurgique pour recycler les fines de criblage (de minerai en charge au haut fourneau, de coke en charge au haut fourneau), les sous-produits d'autres avortions et les déchets de la production industrielle.

Elle était une industrie de récupération des produits trop fines pour le haut fourneau elle est survenue maintenant une nécessité car elle améliore les propriétés physico chimiques de la charge périphérie tels que la résistance mécanique, la réductibilité, la granulométrie.

V.1. Procédés d'agglomération :

Dans un premier temps, on effectue le dosage du produit des beddings, des fines de retour et du combustible solide fin, dans un deuxième temps, ce mélange est humidifié, malaxé et nodulisé de façon à lui conférer une perméabilité satisfaisante l'alimentation de la matière s'effectue en deux phases . La première est le dépôt d'une couche mince (30mm) de protection des grilles , cette couche obtenue lors du criblage de l'aggloméré et est constituée d'une partie de la fraction granulométrique 6-20 mm (15-25 mm) pour la seconde phase consiste à distribuer uniformément le mélange minéral par des appareils évitant le tassement (la réduction de la perméabilité) et la ségrégation granulométrique (perméabilité hétérogène), en l'occurrence est par un roll-feeder (ex:tro4 AG2, + tambour alimentateur + réglage talus) les matières passent ensuite au-dessus de premier caisson d'aspiration , la surface est portée à haute température (1200 °C) par une hotte d'allumage chauffée au gaz naturel cette opération doit non seulement assurer l'allumage du mélange mais également le frittage de la couche superficielle .

La cuisson du mélange se poursuit par l'oxydation du combustible avec l'importante quantité d'air aspirée au travers de la masse par l'intermédiaire des caissons d'aspiration. La vitesse de la bande est réglée de telle sorte que l'opération soit terminée en temps utile c'est-à-dire pour une bande sans refroidissement incorporé, lorsque la température des fumées atteint son maximum à l'avant dernière boîte à vent, le gâteau d'aggloméré ainsi obtenu en bout de chaîne est fragmenté en morceaux de différentes tailles .

Après criblage à chaud qui le débarrasse du fin, l'aggloméré est déposé sur le refroidisseur en dépendant, il est conditionné ensuite en vue de son utilisation aux HFX. Les fractions de granulométrie fines provenant des différents traitements de l'aggloméré ont réunies et constituent les fines de retour .

V.2. Agglomération sur grille (par frittage)

C'est la procédure la plus répandue, il consiste à chauffer un mélange constitué de minerai de fer (0 à 10 mm) de coke (0 à 3 mm) afin d'obtenir la température suffisante et des fondants (sable ou castine de granulométrie de 0 à 3 mm) servant en même temps de liant et de régulateur de la basicité. Le mélange est humidifié jusqu'à 5 à 7 % l'eau est composée aussi d'une quantité importante de fines de retours .

L'appareil le plus utilisé est celui de type contenu (Dowght et LOyd) il est constitué par une chaîne sans fin s'enroulant sur deux tambours tournant. Cette chaîne se compose d'une série de chariots se déplaçant sur des rails de mélange arrive en silos dosage du mélange est allumé en allumage par un brûleur à gaz, puis il est semé à l'aspiration que se fait par l'intermédiaire d'une chambre (boîte à vent l'air est aspiré à l'aide d'un ventilateur). Grâce à cette aspiration dans zone de combustion descend progressivement dans tous les charges de minerai est fritte, ensuite sur un brise motte. Les installations récentes équipées de différents instruments de contrôle qui permettent à chaque instant de connaître les paramètres de marche de la chaîne (vitesse, débit de matières) .

V.2.1. But de l'agglomération sur grille

Le but de l'agglomération sur grille est de fabriquer à partir de fines ou d'un mélange de fines, un produit synthétique calibré directement consommable au haut-

fourneau. Elle est en capacité de répondre aux exigences précédentes inventé au début du XXIème siècle pour recycler au haut-fourneau des déchets fins de la sidérurgie (notamment, poussières de gaz) .S'est avérée comme un outil « indispensable » pour la préparation des charges de certains types de minerais, les «sinter feed = 0-8 mm» .

V.2.2. Principe

Le mélange de minerai, d'addition et une certaine proportion de combustible solide broyé est chargé sur une grille. La masse est ensuite allumée à l'aide de 12 brûleurs sous hotte et on aspire l'air à travers cette masse . L'air entrant par la surface d'inflammation brûle le combustible en dégageant suffisamment de chaleur pour fritter et scorifier la matière à agglomérer .

La vitesse d'avancement de la grille ou de la chaîne d'agglomération est telle que toute la masse est agglomérée en bout de chaîne, ensuite cette masse d'agglomérée sera refroidie puis criblée. L'aggloméré fin impropre à la consommation au Haut – Fourneau retournera dans le mélange à l'entrée de la chaîne, ce sont les fines de retour machine et fines de retour HF .

V.2.3.Différents étapes de l'agglomération sur grille (par frittage)

V.2.3.1. Dosage

Le phénomène étudié est l'alimentation en continu des outils de nodulisation par une quantité voulue de matières solides :

- amenée des matières solides, préalablement préparées, dans des trémies individualisées (minerais de fer homogénéisés, combustibles, castine, chaux vive, fines de retour,...)

- extraction continue de ces trémies et dépôt en strates sur une bande (sauf à Fos où la chaux vive est ajoutée directement au mélangeur)

- transport vers les outils de nodulisation .

- Principes de base

La quantité totale de matière extraite des trémies est régulée :

- soit par une consigne "interne" (choix d'un débit), information en provenance de la boucle de régulation dosage.

- soit par une consigne "externe" (par exemple le niveau de la trémie tête de chaîne), information en provenance d'une zone extérieure au dosage .

Les proportions respectives de chaque matière sont fixées par l'opérateur pour respecter les contraintes de qualité, de quantité et de coût. Le débit du minerai homogénéisé est ajusté pour assurer la production d'aggloméré souhaitée. Le débit des autres produits, indexé à ce débit de minerai, évoluera dans la même proportion .

L'ajout de combustible doit permettre d'élever suffisamment la température dans le front de flamme pour avoir une quantité de liquides de fusion (colle) permettant de coller correctement entre eux les grains de minerais .

Le premier rôle de la castine est de régler l'indice de basicité de l'aggloméré pour avoir une quantité de laitier suffisante au haut-fourneau. Son deuxième rôle est d'abaisser la température de fusion des composés ferrifères, d'où son nom de fondant. Les difficultés de réglage de la castine sont dues principalement aux délais d'analyse de la chimie de l'aggloméré, obtenue souvent quelques heures après le passage sur chaîne du mélange dont on a éventuellement modifié la teneur en castine .

L'ajout de chaux vive dans des proportions de 0 à 3 % permet d'augmenter la productivité de façon significative (5 à 15% pour 1% de chaux vive ajoutée) en améliorant la perméabilité du mélange pendant la cuisson .

Les fines de retour sont constituées par de l'aggloméré trop petit pour être consommé par le haut fourneau (en général <5mm). Elles sont froides ou chaudes selon leur lieu de criblage. Des produits riches en fer tels que les poussières d'électrofiltres sont également recyclées et ajoutées au mélange homogénéisé .

V.2.3.2. Nodulisation

La nodulisation permet de transformer les fines particules du mélange minéral en micro boulettes (ou nodules) qui seront déposées sur la chaîne d'agglomération. Les micro boulettes sont constituées d'un noyau autour duquel se collent les fines particules .

Le phénomène étudié est le mélange et le collage de particules entre elles par addition d'un liquide :

- Amenée des matières premières dosées préalablement : minerais de fer, combustibles, additions (castine, olivine, chaux vive, battitures...), fines de retour.

- Addition de liquide (eau, boues d'aciérie) comme agent collant.
- Utilisation d'un, ou bien de plusieurs, réacteur(s) continu(s) (tambour, soucoupe) pour assurer le mélange et la nodulisation.
- Evacuation et transport du produit nodulisé vers le chargement des chaînes .
- Principes de base
- Les grosses particules constituent les noyaux des microboulettes.
- Les fines particules adhèrent au noyau et l'enrobent.
- Il existe des particules de taille intermédiaire difficiles à noduliser.
- Le liquide assure la liaison entre les particules.
- Les microboulettes doivent être suffisamment résistantes au transport, au séchage, à la cuisson (et en particulier à la surhumidification) .
- Evolution de la granulométrie lors de la nodulisation :

Lors de la nodulisation, les fins viennent se coller sur les noyaux et la granulométrie du mélange évolue : la quantité de fins (0-1mm) diminue tandis que la quantité de gros (>1mm) augmente. La nodulisation comporte deux étapes :

- dans la minute qui suit l'addition d'eau, les fines particules enrobent les grosses et les intermédiaires.
- plus lentes, les particules intermédiaires enrobent à leur tour les noyaux avec apparition d'un équilibre entre formation et destruction des microboulettes .

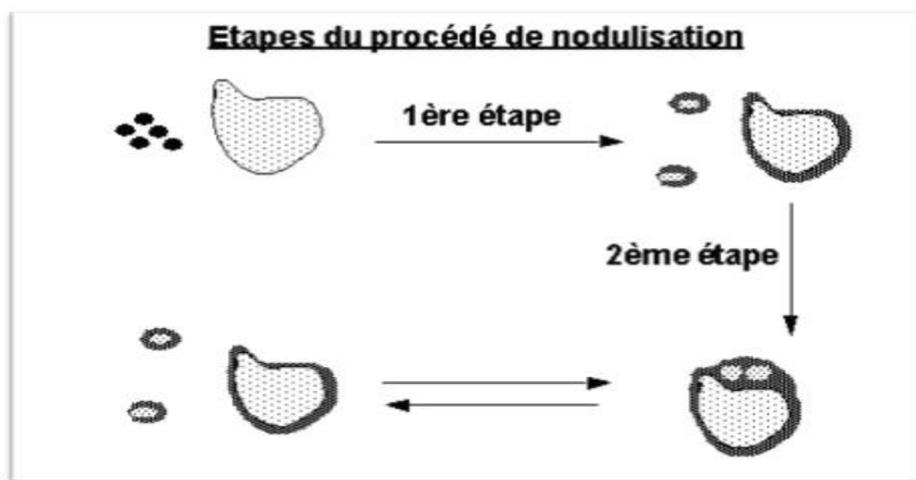


Fig .V.1 : Etapes de procédé de nodulisation

V.2.3.3. Chargement

Le phénomène étudié est le dépôt en continu d'un lit de mélange microbouleté sur la grille en mouvement, éventuellement protégée par une couche d'aggloméré recyclé. Le chargement se situe entre la nodulisation et l'entrée de la hotte d'allumage .

- Principes de base
- Le chargement est continu et régulier, afin de respecter la consigne de hauteur de couche.
- Les microboulettes sont chargées par gravité.
- L'opération de chargement (technologie, débit...) induit une organisation spatiale des microboulettes dans le lit. Celle-ci est directement liée aux ségrégations physiques et chimiques, à l'indice de vide, à la densité de chargement .
- Description de l'opération de chargement

Le mélange prêt à cuire est stocké dans une trémie tampon (autonomie 2 mn environ) appelée tête de chaîne. Il est extrait par un tambour d'alimentation (diamètre environ 1,4 m et vitesse de rotation quelques tours/mn) .

En général, la veine de mélange extraite tombe sur un plan incliné, le tablier de chute. Sa fonction est de dévier les microboulettes pour former un talus d'éboulement sur la grille .

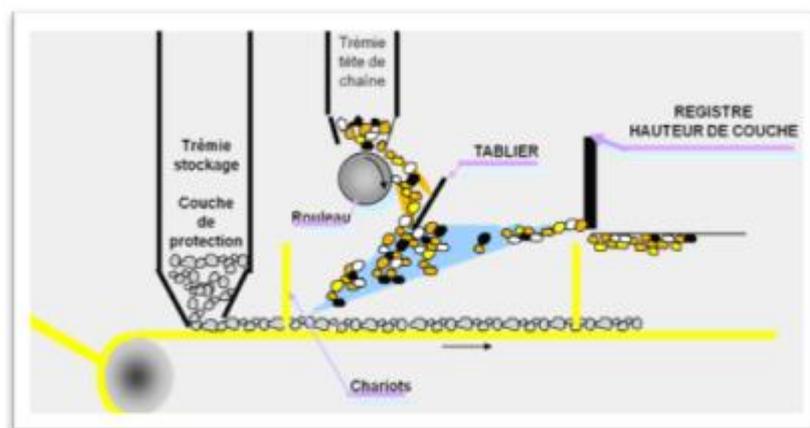


Fig.V.2. Processus de chargement de la chaîne d'agglomération.

Le talus d'éboulement se forme au-dessus de la couche de protection, chargée préalablement soit par extraction directe par avancement de la chaîne, soit par un système analogue à celui du mélange .

- Chargement de la couche de protection

La couche de protection est constituée d'aggloméré recyclé, de granulométrie en général comprise entre 10 et 20 mm ; elle forme un lit de 3 à 4 cm de hauteur .

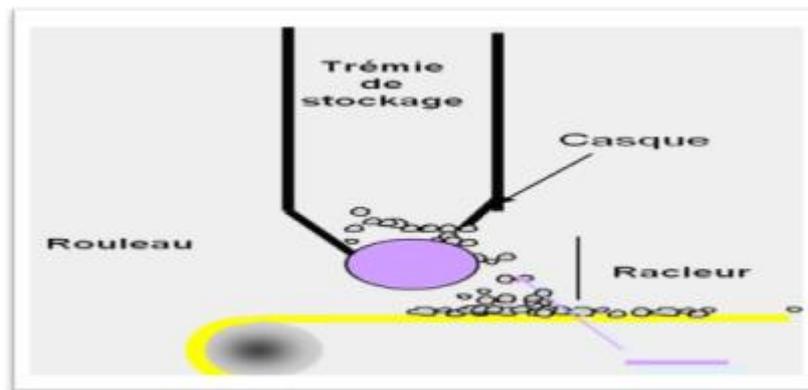


Fig. V.3. Le processus de chargement de la couche de protection

Les fonctions de la couche de protection sont :

- d'empêcher le mélange de passer au travers de la grille
- de protéger thermiquement les barreaux de la grille en absorbant une partie de la chaleur des fumées
- d'éviter le collage de manière à faciliter le défournement du gâteau d'aggloméré en bout de chaîne .

La granulométrie et l'épaisseur de la couche de protection ne sont pas sans incidence sur la productivité de la chaîne : une granulométrie grossière et une épaisseur de la couche de protection égale à trois fois la médiane des particules constituant la couche favorisent un meilleur écoulement des gaz .

V.2.3.4. Allumage

Le phénomène étudié est l'initialisation du processus de frittage du mélange déposé sur la chaîne. Cette opération est réalisée par l'inflammation du combustible solide proche de la surface du mélange lors de son passage sous la hotte allumage .

L'allumage se situe entre le chargement et le frittage. Il est limité à ce qui se passe entre l'entrée et la sortie de la hotte .

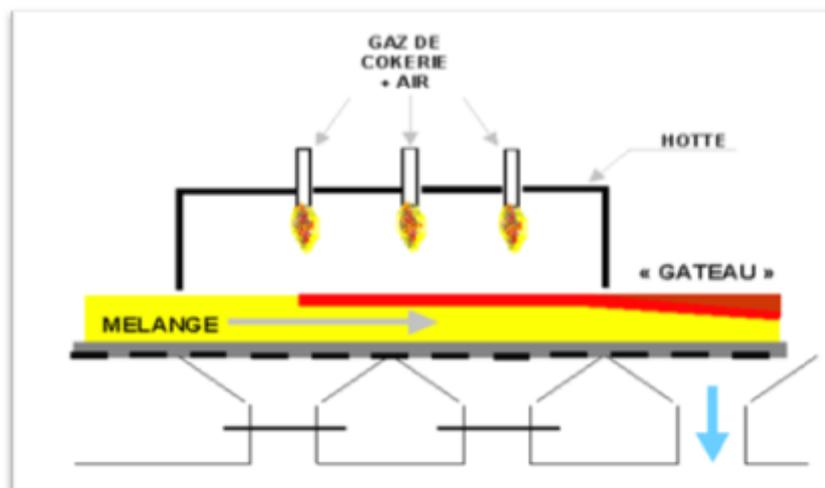


Fig .V.4. Hotte d'allumage

- Principes de base :

Le combustible solide est porté à une température supérieure à sa température d'inflammation (700°C). L'outil classiquement utilisé est une hotte équipée de brûleurs à gaz. L'apport thermique se fait par convection et rayonnement. La convection est réalisée grâce à des fumées chaudes oxydantes provenant des brûleurs. Ces fumées sont aspirées à travers le mélange .

La partie de l'énergie qui n'est pas nécessaire à l'inflammation du combustible est utilisé pour le frittage de la couche supérieure et pour réchauffer le mélange des couches inférieures .

A la sortie de la hotte d'allumage, le gâteau subit une trempe à l'aspiration d'air froid. Cette trempe provoque une zone d'incuits à la surface de la couche. Une technique pour éviter ou limiter les effets de cette trempe est l'utilisation d'une hotte de traitement thermique .

V.2.3.5. Frittage

Le frittage est une transformation physico-chimique du mélange déposé sur chaîne en aggloméré; cette élaboration est obtenue par passage à haute température. Le

frittage concerne la zone comprise entre la sortie de la hotte d'allumage et le bout de la chaîne .

- Suivi de la propagation du front de flamme

L'opération de frittage est réalisée par la propagation du front de flamme du haut vers le bas de la couche par aspiration de l'air ambiant à l'aide d'un ou plusieurs ventilateurs. Le front de flamme est initialisé à l'allumage .

Si nous considérons une charge en cours d'agglomération, il est possible de la diviser en cinq (05) zones qui sont successivement en partant de la grille :

- une couche de protection de la grille constituée d'aggloméré recyclé ;
- une zone humide (mélange surhumidifiée) ;
- une zone d'échauffement rapide (zone sèche);
- une zone à haute température (front de flamme) ;
- une zone de refroidissement (l'aggloméré) .



Fig.V.5. Section verticale d'une couche en cours d'agglomération

On a donc en définitive un système de deux échangeurs superposés et séparés par le front de flamme. Dans l'échangeur inférieur, les gaz chauds contenant les produits de la combustion et l'air en excès préchauffent rapidement la charge tout en assurant les besoins thermiques de déshydratation et de décomposition des carbonates. Les gaz, sortant de la zone sèche, pénètrent dans la couche froide et humide et se refroidissent en entraînant une condensation de la vapeur d'eau jusqu'à ce qu'on atteigne une température d'équilibre correspondant au point de rosée (50°C - 60°C) .

Une partie des besoins thermiques est donc assurée par échange avec les fumées provenant des zones déjà agglomérées, le rôle du combustible solide dans le mélange étant de compenser la différence entre les apports et les besoins calorifiques en maintenant un niveau thermique suffisant pour atteindre la température de frittage (1350°C).

En résumé, du point de vue thermique, le mécanisme de l'opération de frittage peut être considéré comme étant régi essentiellement par les deux phénomènes suivants :

- le phénomène de transfert de chaleur du haut vers le bas de la couche, créant un front à haute température dont la vitesse de propagation ne dépend que du débit gazeux traversant la charge (notions d'air spécifique et de perméabilité du lit).
- le phénomène de combustion du carbone solide, créant un front chimique de combustion.

Le rendement thermique (30%) de l'opération d'agglomération sur grille est d'autant plus élevé qu'il existe une meilleure superposition entre les deux fronts :

- front physique de transfert de chaleur.
- front chimique de combustion, en un seul et même front, dit front de flamme.

Le non superposition des deux fronts se traduit par un élargissement du front de flamme.

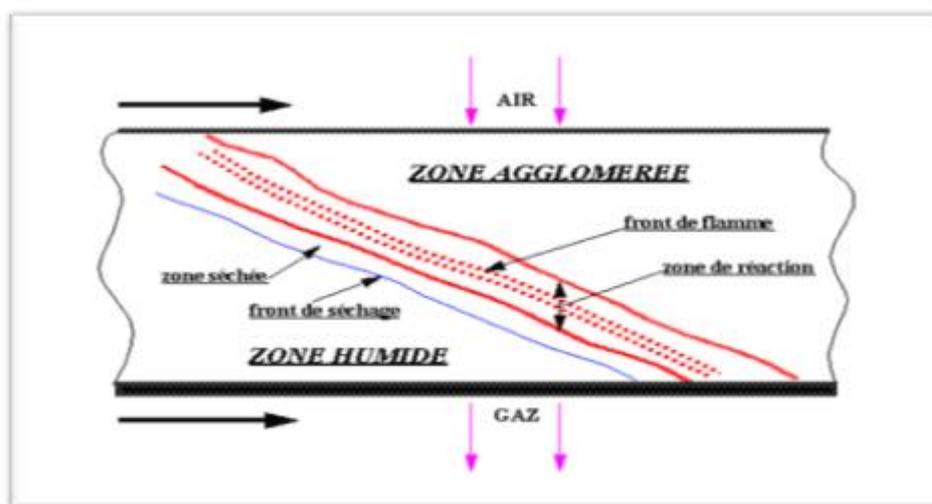


Fig.V.6. Schéma de la propagation du front de flamme.

V.2.3.6. Conditionnement

Le phénomène étudié est la transformation du pain d'aggloméré chaud (défourné en bout de chaîne) en aggloméré marchand froid et calibré. Cet aggloméré marchand est ensuite expédié vers les hauts-fourneaux. Cette préparation est obtenue par broyage, criblage, et refroidissement à l'air. Le conditionnement concerne la zone comprise entre le bout de chaîne (défournement) et les accumulateurs des hauts fourneaux .

- Principes de base

L'opération de conditionnement est réalisée en plusieurs étapes successives :

- broyage grossier du pain d'aggloméré chaud à l'aide du brise-mottes (ou hérissou). Le produit obtenu est l'aggloméré brut .

- criblage à chaud pour séparer de l'aggloméré brut le maximum de particules fines (0-5mm) .

- refroidissement en continu par soufflage d'air ambiant au travers du lit d'aggloméré chargé dans le refroidisseur. La température moyenne de l'aggloméré brut évolue dans cet échangeur d'environ 600°C à moins de 100°C. Cette étape est imposée par la technologie des bandes transporteuses .

- criblage à froid pour séparer l'aggloméré marchand, les fines (0-5mm), et la couche de protection. L'obtention de l'aggloméré marchand peut nécessiter un broyage de la fraction la plus grossière (>50mm) .

Au cours de toutes ces étapes, la granulométrie de l'aggloméré évolue lors du transport et des chutes : d'abord par fragmentation puis surtout par abrasion : on dit alors que l'aggloméré se stabilise .

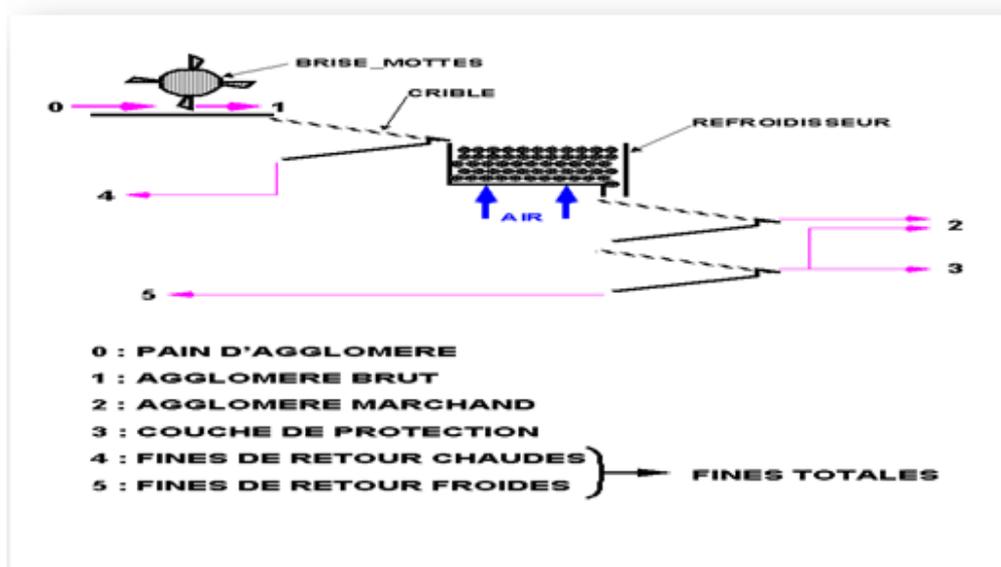


Fig.V.7. Circuit de conditionnement.

Conclusion

L'agglomération est un traitement thermique des minerais de fer de faible granulométrie en vue de les transformer en matériau cohérent, poreux, avec un indice de basicité peu réglé et une teneur en fer acceptable, de plus grande granulométrie (l'agglomérée) apte à être chargé au haut fourneau.

L'opération consiste à plusieurs étapes : la préparation du mélange de minerai de fer et additions (fine de coke, sable ou castine...), la cuisson, le frittage du mélange, le criblage, le broyage à froid de l'aggloméré, la récupération de la fine de retour chaude et l'acheminement du Bedding (la couche de protection).

CONCLUSION GENERALE

Le but principal de notre étude est l'élaboration d'un nouveau schéma de traitement du minerai de fer pauvre de l'Ouenza. Proche de la frontière tunisienne, ce gisement est situé à 120 km au Sud Est de Annaba et à 80 km au nord de Tébessa. L'objectif a été atteint par le choix d'un procédé de traitement combiné en utilisant la séparation magnétique à basse intensité suivie de la flottation.

Plusieurs étapes ont été étudiées afin de réduire le taux des carbonates et des silicates et les autres éléments nuisibles contenus dans le minerai et d'obtenir un concentré de très bonne qualité riche en Fe_2O_3 qui peut être utilisé dans la sidérurgie.

On remarque que le minerai de fer pauvre est très limité sur le plan qualitatif qui reste insuffisant, ce qui ne permet pas son utilisation dans le haut fourneau. La teneur en hématite dans le minerai de fer pauvre de l'Ouenza varie entre 35 et 40 % ce qui constitue une alimentation pour un éventuel traitement.

Dans un premier temps, l'étude du contexte général a permis de voir les diverses utilisations, les différentes productions et les consommations du fer.

Le travail s'est par la suite orienté vers l'étude des minéraux composant le minerai (calcite, quartz, alumine, soufre etc..)

Les résultats obtenus, concordent avec les données expérimentales de plusieurs chercheurs.

En se basant sur les résultats de la séparation magnétique et de la flottation le concentré de fer ainsi obtenu avec une teneur de 50 % en hématite, sera utilisé comme matière première dans le secteur sidérurgique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] (Mine de l'Ouenza histoire et avenir, stock non concassé, processus d'exploitation de minerai de fer sur site Arcelor mettal). La direction de la mine de l'Ouenza.
- [2] Rapport géologique 2019, plan de développement 2014-2023 **DED** (*Département Etude et Développement*) mines de l'Ouenza.
- [3] Mines de l'Ouenza et de Boukhadra, « Document Arcelor Mittal », 2007.
- [4] Mémoire de fin d'étude 2015/2016 (Contribution à l'analyse du mode d'abattage dans les roches fissurées dans les conditions de la mine de l'Ouenza). DJAAFRI Hamza - ZERZOUR Oussama.
- [5] 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.
- [6] https://fr.wikipedia.org/wiki/Minerai_de_fer
- [7] Mémoire de fin d'étude 2013/2014 (caractérisation et valorisation de rejet de marne issu d'exploitation de fer de l'Ouenza-Tébessa) . Khellal Silya & Messara Célia
- [8] <http://www.fossiliraptor.be/fer.htm>
- [9] <https://fr.slideshare.net/kakashi-h/la-fonte>
- [10] Mémoire de fin d'étude (caractérisation et choix d'un schéma de traitement du minerai de fer pauvre (cas d'Ouenza Tébessa). HOUA Mohamed -BOUROUROU Mourad (2014/2015)
- [11] <https://fr.statista.com/statistiques/570421/production-de-minerai-de-fer-par-pays/>
- [12] World steel in figure 2018
- [13] <https://fr.statista.com/statistiques/570422/gisements-de-minerai-de-fer-dans-le-monde-par-principaux-pays/>
- [14] <https://www.journaldunet.fr/patrimoine/guide-des-finances-personnelles/1146972-prix-des-metaux-les-tarifs-des-metaux-en-avril-2020/>
- * MESSAI .A ,thèse doctorat ;contribution a l'étude d'une valorisation des minerai de fer pauvre cas de la mines de rouina .AINE DEFLA ,UNIVERSITE BEDJI MOKHTAR ;ANNABA /

- * MESSAI .A ,thèse doctorat ;contribution a l'étude d'une valorisation des minerai de fer pauvre cas de la mines de rouina .AINE DEFLA ,UNIVERSITE BEDJI MOKHTAR ;ANNABA /
- * MESSAI .A ,thèse doctorat ;contribution a l'étude d'une valorisation des minerai de fer pauvre cas de la mines de rouina .AINE DEFLA ,UNIVERSITE BEDJI MOKHTAR ;ANNABA
- * ABDELOUAFI.B.RECHACHIS. ;caracterisation et choix d'une methode de traitemant de minerai de fer sidéritique de l'ouenza mémoire universite de larbi tebessi ; tebessa 2016
- * AYADI .B . ;CARACTERISATION ET CHOIX D'UN SCHEMA DE TRAITEMENT DU MINERAI CUIVRE FER DE DOUAMIS. UNIVERSITI BADJI MOKHTAR ANNABA
- * bouroro .M.mermoire 2015/ UNIVERSITE LAARBI TEBESSI TEBESSA 2015
- * Janke, D., Savov, L., & Vogel, M. E. (2006). Secondary materials in steel production and recycling. In Sustainable Metals Management (pp. 313-334). Springer, Dordrecht.
- * Bertholon, R., & Relier, C. (1987). Les métaux ferreux et non ferreux. In Conservation-restauration du mobilier archeologique (pp. 41-50).
- * Said Bensaada. Elaboration des métaux ferreux (Fontes et Aciers), vmercier, ISBN: 978-613-1-50827-1
- * www.outotec.com. Outotec technologie de pelletisation.
- * SALAH KHARIEF. Pelletisation et simulation des conditions de la cuve de haut
- * fourneau pour les boulettes du minerai de fer de gara Djebilet, memoires de magister. 1992. CESSID. – Matière Première en Sidérurgie. Cahier 1 1955. L'agglomération sur grille des minerais de fer par J. ASTIER.