

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

# Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Thème

*Caractérisation et paramètres influençant sur  
la qualité d'agglomérat de l'usine sidér El-  
hadjar*

Présenté par :

Mlle BERKANE ZAHRA & Mlle OUDDAI AH LEM

Soutenu le 20/06 /2023 devant le jury composé de :

Présidente	Mm AZIZOU	M.A.A	U.A.M.B
Promotrice	Mm BOUZIDI .N	M.C.B	U.A.M.B
Examineur	Mr AYADEN .B	M.A.A	U.A.M.B

Année Universitaire : 2022-2023

# Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant, de nous avoir ouvert les portes du savoir et nous avoir donnée, la volonté, la patience, la force ainsi que le courage afin de parvenir à la réalisation de ce travail.*

*Nous exprimons nos plus vifs et sincères remerciements à notre promotrice Madame BOUZIDI Nedjma professeur responsable de filière Mines et géologie d'avoir acceptés de diriger ce travail durant lequel elle a partagée avec nous sa connaissance et son expériences. Nous les remercions pour sa patience, sa disponibilité et le temps qu'elle nous a accordés afin que nous puissions finaliser ce travail.*

*Nous exprimons aussi notre profonde considération à Messieurs les membres du jury : Monsieur AYADEN Brahim l'examineur de notre travail et la présidente de notre soutenance Madame AZIZOU pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et nous avoir fait l'honneur de l'examiner.*

*Nous tenons témoigner de notre plus profond merci à monsieur IDRES abdelaziz et BOUTARFA fares de nous aidons.*

*Nous remercions l'ensemble des enseignants du département des mines, pour leurs soutiens et pour tous ce qu'ils nous ont appris durant ces années des études supérieures.*

*Nos plus grandes salutations vont à l'ensemble du personnel au niveau de complexe SIDER El-Hadjar ANNABA spécialement le secteur (PMA) et notamment Mr Y. YAHIOUCHI, pour leur esprit de collaboration, leur aide, leur gentillesse ainsi que leur patience.*

*Nous citerons en particulier les responsables et ingénieurs de Centre de recherche CRAPC Bejaïa. Et tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*



**- B.ZAHRA & O. AHLLEM -**

# Dédicace

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui  
sont chers*

*À mes précieux parents*

*À Ma mère qui m'a toujours donnée plus qu'elle ne le  
faudrait, d'amour et de tendresse, je prie dieu de te protéger.*

*À l'âme de mon père tu étais un pilier solide et incontournable  
pour ma personne et tu le seras pour toujours chère père.*

*À mes deux frères Mokrane et madjide.*

*À ma sœur unique zahoua.*

*Je vous serai éternellement reconnaissante pour votre soutien,  
votre confiance et votre fierté.*

*À toute la famille paternelle Barkene et maternelle ... chacun  
par son nom.*

*À ma promotrice Mme Bouzidi pour toute l'effort et l'aide  
qu'elle m'a donnée.*

*À ma chère binôme Ahlem OUDDAI.*

*À mes chères amies Sara, Lynda, Liza, zouza, liticia,  
wissam, adel, abdlehak, yabadas et a toute la promotion  
VRM de l'année 2022/2023.*

*À toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont apporté  
leur aide*

*À tous, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail.*

 **B.ZAHRA -**

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs*

*Année d'études à :*

*Mes chers parents pour leurs encouragements, patience,  
amour et leurs soutiens.*

*A ma sœur et mes frères.*

*A toute ma famille paternelle et maternelle.*

*A ma binôme Zahra BERKANE.*

*A ma promotrice Mme BOUZIDI pour toute l'aide  
qu'elle m'a donnée.*

*A tous mes collègues de la promotion VRM, ainsi à tous  
mes enseignants qui ont contribué à ma formation durant  
tout le cursus universitaire.*



*- O. AHLEM -*

# *Sommaire*

## *Sommaire*

---

Remerciements

**Dédicace**

**Sommaire**

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

**Introduction Générale..... 1**

### **Chapitre I**

#### **Généralités sur le procédé d'agglomération et le minerai de fer**

**Introduction ..... 4**

I.1. Historique sur les procédés d'agglomérations ..... 4

I.2. Les procédés d'agglomérations dans le monde ..... 4

I.3. Différents procédés d'agglomérations..... 6

I.3.1. Procédés de briquetage ..... 6

A. Avantages du briquetage du minerai de fer..... 7

I.3.2. Procédé de pelletisation ..... 7

A. Les avantages d'Agglomérations en boulettes..... 9

B. Inconvénients ..... 9

I.3.3. Procède d'agglomération sur grille ..... 10

I.4. Généralités sur le minerai de fer du complexe sidérurgique..... 11

I.4.1. Le minerai de Fer..... 11

I.4.2. Classification des minerais ..... 12

I.4.3. Qualités des minerais de fer en Algérie ..... 12

I.4.4. Les matières premières de PMA ..... 14

I.4.4.1. Le minerai de Fer d'El Ouenza..... 14

A. Minéralisation du gisement Ouenza ..... 14

B. Réserves géologiques..... 15

I.4.4.2. Minerai de fer Boukhadra ..... 15

A. L'exploitation de la mine de Boukhadra..... 16

I.4.4.3. Le combustible ..... 17

I.4.4.4. Les fondants ..... 19

A. Fondants basiques..... 20

B. Fondants acides..... 20

I.5. Procédés de traitement du minerai..... 20

## *Sommaire*

---

I.5.1. Réception du minerai 0-300 mm .....	20
I.5.2. Traitement du minerai [13] .....	21
I.5.3. Mise en tas et alimentation des secteurs d'agglomérations .....	21
I.6. Secteur coke.....	25
I.7. Secteur agglomération.....	26
I.7.1. Séquence « 1 » : Préparation du mélange .....	28
A. Stockage.....	28
B. Dosage .....	28
C. Humidification, malaxage et nodulisation du mélange.....	28
I.7.2. Séquence « 2 » Cuisson, frittage du mélange .....	29
A. Chargement.....	29
I.7.3. Chargement de la couche de protection (bedding).....	30
A. Alimentation du mélange.....	30
B. Hotte d'allumage .....	31
C. Le frittage Définition.....	31
I.7.4. Principe de base .....	32
A. Combustion du carbone dans la zone de frittage .....	33
B. Dissociation thermique des carbonates .....	33
C. Dissociation thermique et réduction des oxydes de fer.....	34
D. Interaction des impuretés avec les gaz et la charge .....	34
I.7.5. Séquence 3 : Conditionnement de l'agglomérat .....	35
A. Station de déversement de la chaîne.....	35
B. Criblage à chaux .....	35
C. Refroidissement de l'agglomérat .....	35
D. Criblage à froid.....	35
I.7.6. La séquence 4 .....	36
<b>Conclusion .....</b>	<b>37</b>

## **Chapitre II**

### **Présentation du complexe sidérurgique SIDER EL HADJAR**

<b>Introduction .....</b>	<b>39</b>
II.1. Historique du complexe sidérurgique d'El-Hadjar .....	39
II.2. Situation géographique .....	40
II.3. L'objectif du complexe .....	41
II.4. Produits du complexe.....	41

## *Sommaire*

---

II.5. Le haut fourneau .....	44
II.6. L'aciérie à oxygène.....	45
II.7. Aciérie électrique .....	46
II.8. Unité d'agglomération .....	46
<b>Conclusion .....</b>	<b>47</b>

### **Chapitre III**

#### **Matériels et méthodes**

<b>Introduction .....</b>	<b>49</b>
III.1. Préparation des échantillons.....	49
III.2. Résistance mécanique de l'agglomérat .....	50
III.2.1. Calcul de la l'indice de cohésion et d'abrasion.....	50
III.3. Calcul du taux d'humidité.....	51
III.4. Détermination des pertes au feu (PF).....	51
III.4.1. Matériels utilisés .....	52
III.4.2. Mode opératoire.....	52
III.5. Analyse chimique par méthode volumétrique.....	53
III.5.1. Réactifs utilisée.....	54
III.5.2. Mode opératoire.....	54
A. Analyse du Fer .....	54
B. Analyse de CaO.....	56
III.6. Les analyses spectroscopiques.....	58
III.6.1. Diffraction des Rayons X.....	58
III.6.1.1. Définition.....	58
III.6.1.2. Principe de DRX .....	58
III.6.2. La spectroscopie infrarouge .....	59
III.6.2.1. Définition de l'Infrarouge .....	59
III.6.2.2. Principe de la FTIR.....	60
III.6.3. Analyse chimique par fluorescence des rayons X.....	61
III.6.3.1. Définition de FRX .....	61
III.6.3.2. Principe de FRX .....	61
<b>Conclusion .....</b>	<b>62</b>

### **IV. Chapitre IV**

#### **Caractérisation et paramètres influençant sur la qualité de l'agglomérat**

<b>Introduction .....</b>	<b>64</b>
IV.1. Résultats de la caractérisation physico-chimiques.....	64
IV.1.1. Analyse chimique par FRX.....	64
IV.1.2. Les résultats de caractérisation par FTIR.....	66
IV.1.3. Les Résultats de la caractérisation minéralogiques par DRX .....	70
IV.2. Paramètres influençant le processus d'agglomération et les propriétés des agglomérés .....	74
IV.2.1. Influence de l'homogénéisation sur la qualité d'aggloméré.....	74
IV.2.2. Influence du taux de FeO sur la qualité de l'aggloméré.....	77
IV.2.2.1. Analyse physique.....	78
A. Analyses granulométrique des Agglomérés.....	78
B. Résistance mécanique .....	78
IV.2.2.2. Analyses chimique.....	78
IV.2.3. Influence du taux de fines de retour .....	80
IV.2.4. Influence de la dépression.....	81
IV.2.5. Influence des pertes au feu sur la teneur en Fer .....	81
IV.2.6. Influence de la teneur en fer sur la qualité de l'agglomérat .....	83
IV.2.7. Influence de l'indice de basicité sur la qualité d'agglomérat .....	84
IV.2.8. Perméabilité du mélange.....	87
IV.2.9. Influence l'humidité du mélange sur la qualité d'agglomère.....	88
A. L'impacte.....	88
B. Solution.....	88
IV.2.10. Influence de la répartition du mélange sur la chaîne d'agglomération.....	89
IV.2.11. Influence de l'allumage du mélange .....	89
IV.2.12. Influence de la hauteur de couche.....	90
IV.2.13. Influence de la granulométrie sur la qualité d'agglomérat.....	90
A. Influence de la granulométrie de minerai .....	90
B. Influence de la granulométrie de fine de coke .....	91
IV.2.14. Influence la fine de coke sur la qualité d'agglomération.....	93
IV.2.14.1. Analyse chimique de coke avant le broyage.....	93
IV.2.14.2. Analyse chimique de coke après le broyage.....	93
A. L'influence de l'humidité de fine de coke .....	94

## *Sommaire*

---

B. L'impact de l'humidité sur la qualité du coke.....	95
IV.2.15. Discussion des résultats .....	96
<b>Conclusion .....</b>	<b>97</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>99</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>101</b>

## *Liste d'abréviation*

---

### **Liste d'abréviation**

**ACE** : Aciérie électrique

**AG1** : Agglomération N°1

**AG2** : Agglomération N°2

**Agglo** : Agglomérat

**CRARPC** : Centre de Recherche d'Analyse Physico-Chimique

**DRX** : Diffraction des rayons X

**ENS** : Entreprise Nationale d'Aciérie d'El-Hadjar

**FR** : Fine de retour

**FRX** : Fluorescence à rayon X

**FTIR** : Fluorescence Infrarouge

**H** : Humidité

**HF** : Haut Freneau

**IP** : Indice de basicité

**LAC** : Laminoir à chaud

**LAF** : Laminoir à froid

**LFR** : Laminoir a fil rond

**Min** : Minerai

**MRS BK** : Minerai Boukhadra

**MRS OZ** : Minerai Ouenza

**Mv** : Masse volatil

**OMS** : Organisation mondial du commerce

**P gaz** : Poussière de gaz

## *Liste d'abréviation*

---

**P** : Poste

**PF** : Pertes au feu

**PMA** : Préparation de matières et agglomération

**SBS** : Bônoise Steel Company

**SNS** : Société national de l'acier

**TSS** : Tube sans soudure

## *Liste des tableaux*

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Evolution mondiale de l'agglomération en boulette.....	8
<b>Tableau I.2</b> : Développement mondial de l'agglomération en boulette .....	8
<b>Tableau I.3</b> : Evolution mondiale de l'agglomération sur grille.....	10
<b>Tableau I.4</b> : Développement mondial de l'agglomération en grille .....	11
<b>Tableau I.5</b> : Classification des minerais de Fer .....	12
<b>Tableau I.6</b> : Teneurs et ressources en Fer en Algérie [2021] .....	13
<b>Tableau I.7</b> : Production minière mondiale de minerai de fer, par pays, en 2021.....	13
<b>Tableau I.8</b> : Composition chimique de minerai Ouenza.....	14
<b>Tableau I.9</b> : Réserves géologiques et exploitables de la mine de Boukhadra (2022).....	16
<b>Tableau I.10</b> : Composition chimiques de minerai de fer de Boukhadra.....	17
<b>Tableau I.11</b> : Résultats d'analyse chimique du combustible .....	18
<b>Tableau I.12</b> : L'analyse granulométrique des fines de coke.....	19
<b>Tableau I.13</b> : Les différentes étapes d'agglomération.....	27
<b>Tableau I.14</b> : Les réactions chimiques caractérisant le processus d'agglomération.....	32
<b>Tableau II.1</b> : Les différents produits du complexe .....	43
<b>Tableau IV.1</b> : Les résultats d'analyse chimique par FRX.....	64
<b>Tableau IV.2</b> : Analyse chimique du minerai en tas 117 .....	75
<b>Tableau IV.3</b> : Analyse chimique de l'agglomérat du tas 117.....	75
<b>Tableau IV.4</b> : Analyse chimique de minerai en tas 119.....	76
<b>Tableau IV.5</b> : Analyse chimique de l'agglomérat du tas 119.....	76
<b>Tableau IV.6</b> : Analyse granulométrique et mécanique de l'agglomérat .....	78
<b>Tableau IV.7</b> : Analyse chimique de l'agglomérat prise le 04/03/2023.....	79
<b>Tableau IV.8</b> : Pertes au feu du mois de Février 2023 .....	82
<b>Tableau IV.9</b> : Analyse prise en mois de Février .....	83
<b>Tableau IV.10</b> : Analyse chimique de la castine .....	84
<b>Tableau IV.11</b> : Analyse chimique de sable.....	84
<b>Tableau IV.12</b> : Analyse chimique du minerai de Boukhadra .....	85
<b>Tableau IV.13</b> : Analyses chimique de minerai de l'Ouenza.....	86
<b>Tableau IV.14</b> : La variation le pourcentage IP dans le minerai et l'agglomérat.....	87
<b>Tableau IV.15</b> : L'humidité du mélange .....	88
<b>Tableau IV.16</b> : Analyse granulométrique du minerai .....	90
<b>Tableau IV.17</b> : Analyse granulométrique de fine de coke.....	92

## *Liste des tableaux*

---

<b>Tableau IV.18:</b> Analyse chimique de coke avant le broyage .....	93
<b>Tableau IV.19:</b> Analyse chimique de coke Après le broyage .....	93
<b>Tableau IV.20:</b> La relation entre la consommation de fine de coke et leur humidité .....	95

## *Liste des figures*

---

### Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Développement de procédé d'agglomération [3].	5
<b>Figure I.2</b> : Schéma représentant les étapes d'Agglomérations en boulettes.	8
<b>Figure I.3</b> : Schéma technologique de la préparation mécanique du minerai.	21
<b>Figure I.4</b> : Mise en tas.	22
<b>Figure I.5</b> : La machine Herze servant à homogénéiser les différentes couches [13].	23
<b>Figure I.6</b> : Technique de mise en tas	23
<b>Figure I.7</b> : Mise en tas à l'aide d'une JET	24
<b>Figure I.8</b> : Reprise du minerai homogénéisé par la Roue pelle	24
<b>Figure I.9</b> : Schéma technologique de préparation mécanique du coke.	26
<b>Figure I.10</b> : Schéma des étapes d'agglomérations [12].	28
<b>Figure I.11</b> : Tambour pour nodulisation [7].	29
<b>Figure I.12</b> : Processus de chargement [12].	29
<b>Figure I.13</b> : Chargement de la couche de protection Bedding [13]	30
<b>Figure I.14</b> : Alimentation de la chaîne d'agglomération [13].	31
<b>Figure I.15</b> : Allumage du mélange à agglomérat [13]	31
<b>Figure I.16</b> : Frittage de l'agglomérat [13].	32
<b>Figure I.17</b> : Les étapes de conditionnement de l'agglomérat [6].	36
<b>Figure II.1</b> : Historique de SIDER EL HEDJAR [4].	40
<b>Figure II.2</b> : Schémas présentant les différents ateliers et secteurs du complexe [20].	41
<b>Figure II.3</b> : Les différentes structures du complexe d'El-Hadjar [12].	42
<b>Figure II.4</b> : Organigramme du complexe sidérurgique SIDER El-Hadjar [20].	43
<b>Figure II.5</b> : Schéma d'un haut fourneau [8].	45
<b>Figure III.1</b> : Pesage de l'échantillon	51
<b>Figure III.2</b> : Matière dans l'étuve.	51
<b>Figure III.3</b> : Balance analytique.	52
<b>Figure III.4</b> : Creusé nacelle en porcelaine	52
<b>Figure III.5</b> : Préparation de la solution.	54
<b>Figure III.6</b> : Ebullition de la solution.	54
<b>Figure III.7</b> : Solution obtenu.	55
<b>Figure III.8</b> : Dispositif de titrage du fer total par le dichromate de potassium	55
<b>Figure III.9</b> : Préparation de la solution	56
<b>Figure III.10</b> : Filtration de la solution.	57

## *Liste des figures*

---

<b>Figure III.11:</b> Appareil de DRX.....	59
<b>Figure III.12 :</b> Préparation des échantillons destinés à l'analyse de la DRX. ....	59
<b>Figure III.13:</b> Le spectroscope infrarouge.....	60
<b>Figure III.14 :</b> Le principe de de FX [23].....	62
<b>Figure IV.1:</b> Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon du minerai de fer.....	66
<b>Figure IV.2:</b> Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon agglomrat. ....	67
<b>Figure IV.3:</b> Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon de la castine.....	67
<b>Figure IV.4:</b> Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon du coke.....	68
<b>Figure IV.5:</b> Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon du sable .....	69
<b>Figure IV.6:</b> Spectre de diffraction des rayons X du minerai de fer ; (Q: Quartz, H: Hématite, C: Calcite).....	70
<b>Figure IV.7:</b> Spectre de diffraction des rayons X du coke .....	71
<b>Figure IV.8:</b> Spectre de diffraction des rayons X de l'échantillon d'agglomérat.....	72
<b>Figure IV.9:</b> Spectre de diffraction des rayons X de l'échantillon de la castine .....	73
<b>Figure IV.10 :</b> Spectre de diffraction des rayons X de l'échantillon du sable .....	74
<b>Figure IV.11:</b> Variation de teneur en FeO en fonction du temps .....	79
<b>Figure IV.12:</b> Pertes au feu (PF) en fonction de la teneur en fer (FeO).....	82
<b>Figure IV.13:</b> Histogramme de la teneur en Fe dans le minerai et dans l'agglomérat .....	83
<b>Figure IV.14:</b> Rapport entre la chaux et la silice .....	85
<b>Figure IV.15:</b> Rapport entre la chaux et la silice.....	86
<b>Figure IV.16:</b> Variation de la température au cours de lit d'agglomération.....	90
<b>Figure IV.17:</b> Consommation de fine de coke en fonction de l'humidité de fine de coke. ....	95

# *Introduction Générale*

## *Introduction Générale*

---

L'industrie métallurgique a une forte demande de minerai de fer. Le minerai fritté est la matière première pour la production de fonte. Il existe différents procédés d'agglomérations tels que le briquetage, la pelletisation et le grillage, Sider El Hadjar adopte la méthode d'agglomération de grille de minerai de fer, c'est la technologie principale utilisée dans le monde depuis plusieurs années pour la préparation de la charge des hauts fourneaux.

Les gisements d'El'Ouenza et Boukhadra fourniront la totalité du minerai de fer nécessaire à l'usine d'El-Hadjar. La mine à ciel ouvert d'El Ouenza fournit à elle seule plus de 80% du minerai d'hématite [1].

Concernant la matière d'agglomération pour Les hauts fourneaux (HF), les utilisateurs s'efforcent de rendre l'enfournement le plus régulier possible afin d'optimiser le fonctionnement des installations et d'éviter une consommation excessive du combustible. Cette exigence ne peut être atteinte qu'au prix d'une préparation méthodique pour les matières premières tels que la castine, sable et coke, consistant aussi à conditionner les minerais et les matières de récupération industrielle (fines de retour, boues, poussières de gaz...), afin de garantir des combinaisons ayant des caractéristiques plus constantes et plus homogènes.

Le secteur (PMA) s'occupe de la manutention et du traitement de ces matières pour l'alimentation des HF[2].

Théoriquement, l'amélioration de La qualité du minerai améliore la qualité de l'agglomérat et réduit les coûts de production unitaire. Dans la pratique, d'autres paramètres peuvent exercer une influence négative et rendre cet avantage discutable.

A partir de là, il est devenu évident qu'une étude devait être menée pour caractériser la matière première par diverses analyses. Cela pourrait potentiellement répondre à la difficulté du processus préparation des matières premières et aussi permettre d'envisager des solutions possibles pour une utilisation dans la chaîne d'agglomération. Cela permet de produire de la fonte de meilleure qualité avec des propriétés plus uniformes et dans des conditions économiques plus favorables, les méthodes d'élaboration et aussi des diverses installations métallurgiques [3].

Le but de cette étude est de caractériser les matières premières utilisées dans les différents procédés de la PMA utilisées dans l'entreprise lors de l'élaboration de

## *Introduction Générale*

---

l'agglomérat sur grille au niveau du complexe sidérurgique d'El-Hadjar. Par la suite, les paramètres influençant sur le processus d'agglomération sont étudiés.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres distincts, après une introduction générale:

- Chapitre 1 : Généralités sur le procédé d'agglomération et minerai de fer. Dans ce chapitre, nous allons présenter les procédés d'agglomérations utilisés pour l'agglomération du minerai de fer.
- Chapitre 2 : Présentation sidérurgiques de SIDER EL –HADJAR. Ce chapitre donne une vue d'ensemble du complexe sidérurgique, en particulier de la structure PMA.
- Chapitre 3 : Matériels et méthodes. Dans ce chapitre on va présenter les différentes appareils et méthodes utilisés pour caractériser et analyser les différents échantillons
- Chapitre 4 : caractérisation et les paramètres influençant sur la qualité de l'agglomérat. Dans ce chapitre, nous considérons divers paramètres qui influencent le processus d'agglomération.
- Ce mémoire se termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

# *Chapitre I*

## *Généralités sur le procédé d'agglomération et le minerai de fer*

### **Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons présenter, définir les procédés d'agglomérations utilisés pour l'agglomération du minerai de fer. Ce pendant quelques utilisations de ce procédé dans le monde et les différents types de procédés d'agglomérations sont aussi présentées. Par ailleurs quelques généralités sur le minerai de fer dont le complexe sidérurgique s'approvisionne sont développées.

#### **I.1. Historique sur les procédés d'agglomérations**

Une usine d'agglomération est une installation sidérurgique où le minerai de fer est fritté pour le rendre utilisable dans un haut fourneau. Le produit obtenu appelé « agglomérat » présente une composition chimique, une porosité et une résistance mécanique compatibles avec le fonctionnement des hauts fourneaux [2]. Le terme d'agglomération a un sens très spécial en sidérurgie : au lieu de signifier seulement un grossissement des particules, opération qui pourrait être réalisée par un simple briquetage par exemple, il signifie une préparation des fines de minerais de fer qui inclut un grossissement des particules fines dédié à passer à une cuisson [3].

Le terme d'agglomération a un sens très spécial en sidérurgie : au lieu de signifier seulement un grossissement des particules, il inclut également une cuisson, opération thermique où l'on dissocie les hydrates et les carbonates, des minerais ou des fondants. On y prépare aussi à la fois le laitier et les oxydes de fer, qui par réduction produiront le métal. Il existe deux types d'agglomération : sur grille ou en boulettes [4].

Par ailleurs, il existe également des installations d'agglomération de minerais non ferreux dédiés aux minerais de zinc, de plomb et de cuivre. Si elles sont de taille bien plus modeste que celles de la sidérurgie, leur fonctionnement et leur intérêt sont identiques.

#### **I.2. Les procédés d'agglomérations dans le monde**

Les gisements de minerai de fer se trouvent dans des conditions poussiéreuses et sableuse dans la plupart des pays comme la Russie, la France et l'Allemagne. Le minerai ne peut pas être chargé dans le haut fourneau sous cette forme. En effet, il est calciné pour qu'il devienne une couche imperméable.

L'importance de la calcination du minerai a été reconnue avec le développement du

premier bas-fourneau, et plusieurs procédés ont ensuite été développés. La méthode primitive, consistant à pratiquer un grillage en meule abandonnée vers la fin du XIXe siècle en raison de sa forte consommation de combustible. Des fours à réverbère, notamment des fours à cuve.

Les ont ensuite remplacés. Ces derniers rendements sont élevés, grâce à la fois au confinement de la réaction et au fonctionnement à contre-courant. Les matières solides descendent et les gaz montent). Ces fours à griller le minerai étaient des cuves inspirées des hauts fourneaux et des fours à chaux et n'étaient pas des outils très productifs.

Le procédé automatique est apparu en 1910 permettait une production de 300 000 tonnes par an. Au début du 20<sup>ième</sup> siècle, d'autres procédés continuent d'émerger le marché de production ; comme le procédé Smith utilisant des fours à tambour. Ces procédés ont disparu lorsqu'Arthur Smith Dwight (1864-1946) et Richard Lewis Lloyd, travaillant ensemble dans les mines de cuivre de Cananea au nord du Mexique, ont mis au point le procédé de calcination en grille continue. Leurs premières machines ont été testées sur des mines de cuivre et de plomb à partir de 1906. Ils ont ensuite déposé conjointement une série de brevets. Les deux inventeurs fondent en 1907 la Dwight and Lloyd Metallurgical Company. Ils ont construit de nombreuses machines et vendent des licences dans le monde entier, y compris au constructeur d'usine allemand Lurgi. La première machine d'agglomération utilisant le procédé Dwight-Lloyd et dédié au minerai de fer a été construit aux États-Unis en 1910. Puis l'Allemagne, Bochumer-Verein l'a adopté en 1917, tandis que la première chaîne d'agglomération française à Fontoy date de 1952 [3]. Et la figure (I.1) montre celle-ci

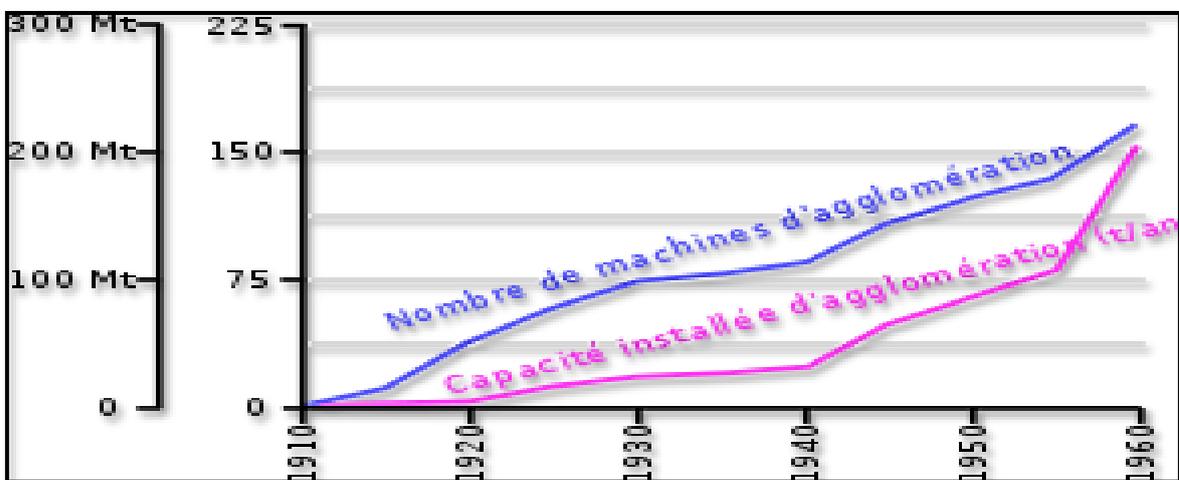


Figure I.1 : Développement de procédé d'agglomération [3].

### **I.3. Différents procédés d'agglomérations**

Les principaux procédés utilisés en agglomération sont [5]:

#### **I.3.1. Procédés de briquetage**

Les briquettes sont un procédé d'intérêt commercial à la fin du 19<sup>ième</sup> et au début du 20<sup>ième</sup> siècle. Cependant, la production de briquettes destinées aux hauts fourneaux n'a jamais atteint une proportion significative et a diminué après 1950. Il a été abandonné vers 1960.

Cependant, le processus de briquetage de Gröndal consistait simplement à mélanger du minerai de fer avec l'eau pour être ajoutée à la matière première si nécessaire et à le compacter en blocs rectangulaires de la taille d'une brique. Les blocs ont ensuite été durcis en les faisant passer dans un four tunnel chauffé électriquement à 1350°C. Les briquettes ont des volumes allant de 2 à 20 cm<sup>3</sup>.

Les briquettes plus grandes sont également réputées moins faciles à réduire dans un haut fourneau. Il a été constaté qu'un facteur clé du succès du procédé de briquetage sans liant est d'obtenir des conditions de procédé dans lesquelles les briquettes brutes ont une résistance suffisante pour résister au cycle de durcissement. En conséquence, dans un premier aspect de l'invention, il est proposé un procédé de préparation de briquettes de minerai de fer, comprenant les étapes suivantes :

- Fournir un mélange de particules de minerai de fer et d'un fondant.
- Compactage de ce mélange en une briquette brute dans des conditions propres à produire une briquette ayant une résistance brute suffisante pour survivre à une étape d'induration ultérieure
- L'induration de ces briquettes brutes : Plusieurs caractéristiques de la matière première ont été identifiées comme ayant une influence significative sur la formation de ces liaisons qui affectent la qualité et les performances de traitement des briquettes brute et cuites. Ces caractéristiques sont le taux d'humidité de la matière première et ses caractéristiques d'écoulement, la composition chimique du minerai, sa distribution granulométrique, avantageusement, ces caractéristiques pour produire des briquettes aux propriétés souhaitables et contrôlées [5].

### **A. Avantages du briquetage du minerai de fer**

- Les briquettes sont plus faciles à manipuler, à stocker et à transporter que les fines de minerai de fer.
- Les briquettes ont une résistance supérieure aux impacts et aux chocs, ce qui les rend plus durables.

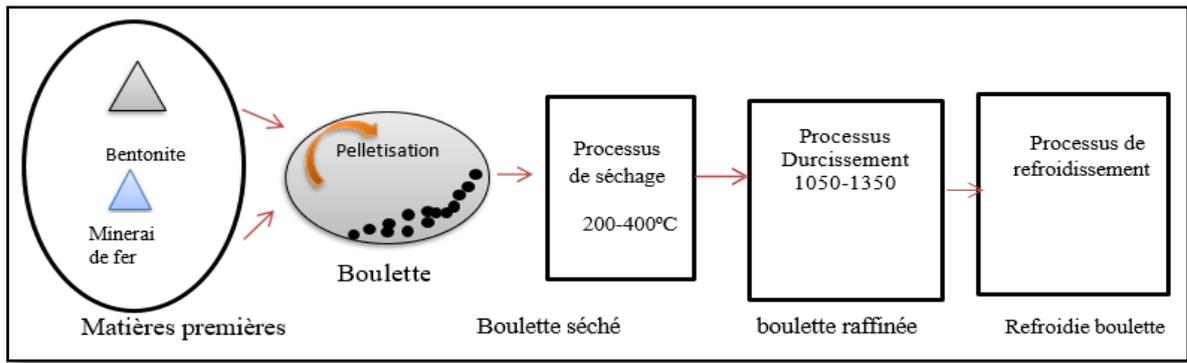
### **I.3.2. Procédé de pelletisation**

La pelletisation permet de transformer le minerai de fer à fines particules en billes d'un certain diamètre, aussi connues sous le nom de pellets, qui sont alors adaptées à une utilisation en haut fourneau ou pour une réduction directe. Elles ne génèrent pas de déchets solides ou liquides [6].

Les étapes clés du procédé de bouletage sont [7] :

- Préparation des fines de minerai de fer : Les fines de minerai de fer sont triées et tamisées pour éliminer les impuretés et obtenir une granulométrie uniforme.
- Mélange : Mélanger les fines de minerai de fer avec des additifs tels que la dolomite ou le calcaire et la bentonite pour améliorer la qualité des boulettes et favoriser leur formation.
- Granulation : Le minerai de fer fin mélangé avec des additifs est humidifié avec de l'eau et roulé en petites boules, sphériques de 10 à 20 mm de diamètre.
- Séchage : Séchez les granulés pour éliminer l'humidité et augmenter la résistance.
- Durcissement : Les granulés sont cuits à haute température 1300 °C selon un processus parfois appelé induration dans des fours à cuve, des grilles roulantes horizontales ou une combinaison de grilles roulantes et de fours rotatif pour durcir le liant et former des boulettes dures et résistantes pour produire de la fonte.

Et le procédé de fabrication des boulettes est représenté dans la figure (I.2)



**Figure I.2** : Schéma représentant les étapes d'Agglomérations en boulettes

L'évolution mondiale de l'utilisation de ce type de procédé ainsi que le développement mondial de l'agglomération en boulette sont représentées respectivement sur les tableaux I.1 et I.2.

**Tableau I.1** : Evolution mondiale de l'agglomération en boulette [3].

	1955	1960	1970	1980	1990	1995
<b>Amérique du nord (Etats-Unis, Canada)</b>	1,1	15,5	81,6	86,4	77,3	65
<b>URSS</b>	0	0	11	51	68	50
<b>Autres pays industriels</b>	0,4	1	16	20	25	25
<b>Pays développement</b>	0	0	8	30	55	80
<b>Total mondial</b>	1,5	16	117	187	225	240

**Tableau I.2** : Développement mondial de l'agglomération en boulette [3]

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Amérique du nord (Etats-Unis, Canada)</b>	77	87	88	66,5	74,1	80,1	80	80
<b>URSS</b>	68	48	50	46	50,5	56,6	60	62
<b>Autres pays industriels</b>	25	26	26	25	26	27	31	32
<b>dont : Suède</b>	10	14	15	14	14	15	16	17

<b>Sous-total</b>	170	161	164	138	151	165	171	174
<b>Pays en développement</b>	55	83	97	102	114	126	133	145
<b>dont :</b>								
<b>brésil</b>	22	29	42	37	39	45	51	55
<b>chine</b>	8	18	14	27	30	33	35	38
<b>Inde</b>	2	2,5	3	5	10	11	11,5	12
<b>Mexique</b>	8	11	10,5	8	8,8	9,1	9,1	10
<b>Venezuela</b>	5	8	10	8	8,7	9	9	9
<b>Iran</b>	0,6	4	6,6	8,5	6,5	7,5	7,5	8
<b>Bahreïn</b>	1	1,6	3,6	2,7	3,1	3,7	3,7	4
<b>Total</b>	225	244	261	240	265	291	304	319

#### **A. Les avantages d'Agglomérations en boulettes**

La pelletisation est considérée comme une méthode pratique et économique d'utilisation de concentrés de minerai de fer pour produire un produit d'alimentation de haut fourneau de qualité et les boulettes offrent de nombreux avantages par rapport à toute autre forme de concentré[8].

- Leur production nécessite moins de chaleur que le frittage utilisé auparavant.
- Leur valeur métallurgique (granulométrie uniforme, en général entre 9 et 16 mm, porosité et teneur uniforme) a fait croître le rendement des hauts Fourneaux qui les utilisent de 30 à 40%.
- Leur résistance au gel et aux frottements lors du transport.
- Minimisation de la production de poussières et de fines.

#### **B. Inconvénients**

La pelletisation est une méthode pratique et commercialement intéressante pour agglomérer des concentrés fins, mais elle nécessite un broyage important pour obtenir la

granulométrie requise le minerai doit être broyé très finement, généralement à une taille d'environ 60 % du minerai passe 45  $\mu\text{m}$ .

### **I.3.3. Précède d'agglomération sur grille**

Cette opération consiste à effectuer sur une grille la combustion d'un mélange composé de fines de minerais de fer, d'additions et de combustible, constitué en général de fines de coke (poussier de coke) [6].

Les objectifs principaux du procédé d'agglomération sur grille sont :

- Pour améliorer la pénétration de la charge dans le haut fourneau, la taille du minerai est augmentée à un niveau que le haut fourneau peut être acceptable.
- Former un agglomérat solide hautement réductible.
- Pour l'élimination des volatils tels que le  $\text{CO}_2$  des carbonates, le  $\text{H}_2\text{O}$  des hydroxydes, le soufre des micro-minerais sulfurés.
- D'incorporer le flux dans l'alimentation.

L'usine de SIDER EL HADJAR utilise le procédé d'agglomération par grille, il est décrit en détail dans le chapitre II.

L'évolution mondiale de l'utilisation de ce type de procédé ainsi que le développement mondial de l'agglomération sur grille sont représentées respectivement sur les tableaux I.3 et I.4.

**Tableau I.3 : Evolution mondial de l'agglomération sur grille [9].**

	<b>1955</b>	<b>1960</b>	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>
<b>Europe (ouest), Amérique du nord et japon</b>	64	114	246	276	237	213
<b>Europe de l'est</b>	39	78	175	208	182	108
<b>Pays en développement</b>	3	26	35	88	163	225
<b>Total mondial</b>	106	218	456	572	582	546

**Tableau I.4 : Développement mondial de l'agglomération en grille [9].**

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>EU 15</b>	111	107	105	102	100	102	102	102
<b>Autres : Europe</b>	47	33	30	30	30	30	30	30
<b>Ex URSS</b>	143	79	85	85	85	90	90	90
<b>Amérique du nord</b>	15	14	9	9	8	7	6	5
<b>Japon</b>	97	90	90	90	100	100	105	105
<b>Océanie</b>	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Sous-total</b>	419	329	325	322	329	335	339	338
<b>Afrique</b>	5	4	6	6	6	6	6	6
<b>Amérique du sud dont :</b>	24	29	29	30	32	32	32	33
<b>brésil</b>	21	26	26	27	28	28	29	30
<b>Asie dont :</b>	135	194	227	260	293	316	341	363
<b>Chine</b>	87	135	160	190	220	240	260	280
<b>Inde</b>	10	10	15	20	21	22	23	27
<b>Corée</b>	24	30	32	34	36	38	40	40
<b>Taiwan</b>	8	8	9	9	9	9	10	10
<b>Autres</b>	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Sous –total</b>	164	227	262	296	331	354	379	402
<b>Total</b>	583	556	587	618	660	689	718	740

## **I.4. Généralités sur le minerai de fer du complexe sidérurgique**

### **I.4.1. Le minerai de Fer**

Le minerai de fer se compose de roches et de minéraux desquels du fer métallique peut être extrait de manière rentable. Le minerai extrait est habituellement riche en oxydes et en carbonates de fer. Le fer est aussi le métal le plus recherché pour ses propriétés utilitaires, dont sa dureté, sa résistance et sa durabilité. 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[9].

### **I.4.2. Classification des minerais**

On peut classer industriellement les minerais d'après la teneur en fer [9]:

- Minerais pauvre : le fer est de 40 -50%.
- Minerais moyens : le fer est de 50 -60%.
- Minerais riches : le fer est de 60 -68%. Ou d'après leurs familles
- Fers natifs : Ils sont rares, d'origine terrestre ou météoritique et, dans ce cas, généralement associés à du nickel.
- Silicates contiennent du fer, associé à du magnésium et à de l'aluminium.

Le Tableau I.5 suivant illustre la classification des minerais de Fer.

**Tableau I.5 : Classification des minerais de Fer [9].**

<b>La famille</b>	<b>Minéraux</b>	<b>La teneur en fer</b>
Les oxydes	Hématite $Fe_2O_3$ , Magnétite $Fe_3O_4$	50 % à 67 %
Hydroxyde et oxydes hydratés	Goethite $Fe(OH)$	62,2 %
	Limonite $FeO(OH).nH_2O$	25 % à 45 %
Carbonatés	Sidérite $FeCO_3$	30 % à 40 %
Sulfure	Pyrite $FeS_2$	46%

### **I.4.3. Qualités des minerais de fer en Algérie**

Les ressources principales de minerai de fer sont localisées dans les deux gisements Boukhadra et l'Ouenza dans le nord-est de pays et dans le gisement de gara Djebilet dans le sud-est. Les autres gisements, avec des réserves moins importantes, situés dans le nord sont : Khanguet (Tebessa) Chaabet el Balloute (Souk Ahres) Sidi Maarouf (Jijel) [10]. Les teneurs et les ressources en Fer en Algérie sont représentés dans le tableau suivant I.6 :

## Chapitre I Généralités sur le procédé d'agglomération et le minerai de fer

**Tableau I.6 : Teneurs et ressources en Fer en Algérie [2021] [10].**

Teneurs (%) Types de minerai		Fe	Ca O	Si O <sub>2</sub>	Mg O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	PF	P	Réserves (MT)
Ouenza	Hématite Sidérose	44,5	8 , 14	8,4 2	0,3 2	1,06	2	11,14	0,05	80
Boukhadra	Hématite Sidérose	47 ,3 3	4, 25	8,0 1	0,1 9	1,08	2,47	9,64	0,03	50
Gara Djebilet	Hématite Magnétite Oolithique	57	1, 5	5	0,0 9	1,5	0,10	3,75	0,8	2500
Autres gisements	Hématite	35/5 3	1, 5/ 6	12/ 21	-	10	-	-	-	120
<b>Total</b>										2750

La production mondiale du minerai de Fer dans le monde est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau I.7 : Production minière mondiale de minerai de fer, par pays, en 2021[11].**

Classement	Pays	Millions de tonnes	Total (%)
1	Australie	900	34,6
2	Brésil	380	14,6
3	Chine	360	13,8
4	Inde	240	9,2
5	Russie	100	3,8
6	Ukraine	81	3,1
7	Kazakhstan	64	2,5
8	Afrique du Sud	61	2,4
9	Canada	57	2,3
10	Iran	50	1,9
-	Autres pays	244	9,6
<b>Total</b>		<b>2 537</b>	<b>100</b>

**I.4.4. Les matières premières de PMA**

**I.4.4.1. Le minerai de Fer d'El Ouenza**

Le gisement d'Ouenza est situé à 70 kilomètres au nord de Tébessa. Elle se trouve à 600 kilomètres au sud-est d'Annaba, près de la frontière avec l'Algérie et la Tunisie. Le gisement d'Ouenza est une entreprise importante dans et autour de la région, contribuant au développement de l'industrie lourde.

Le gisement d'Ouenza est situé dans le djebel d'Ouenza, un grand anticlinal nord-est traversé par une série de plis éocènes, qui est essentiellement constitué d'un socle crétacé fort (Sénonien et mine barrée), dans lequel il convient de noter des calcaires subnaturels Les strates, correspondant à la plaine effondrée la plus proche, sont disposés dans une direction perpendiculaire à la nef plissée (sud-ouest, nord-est) Fossé Tébessa-Marssott Fossé Ouled Bourhanem [12].

Le minerai de fer extrait à la Mine d'Ouenza est principalement composé d'hématite, de sidérose, de goethite, de malachite, de baryte, de galène et de limonite. Les roches hôtes sont la calcite, la marne et le quartzite. Cependant, le calcaire est le plus courant [12]. La principale composition chimique du minerai de Fer d'El Ouenza est représentée par le tableau suivant :

**Tableau I.8 : Composition chimique de minerai Ouenza [13]**

<b>Eléments</b>	<b>Fer</b>	<b>CaO</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>MgO</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MnO</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
<b>Teneur %</b>	45,21	8,66	6,87	0,76	0,55	2,17	0,02	0,03

**A. Minéralisation du gisement Ouenza**

La minéralisation se présente sous forme de filons-couches substructure où la confusion de leurs sommets leur donne un aspect de champignons à plusieurs pieds. La plus grande variation morphologique se rencontre dans les sommets ou les nids, lentilles, filons couches, et autres amas s'enchevêtrent parfois en un chaos indescriptible[14].

L'hématite extraite peut sous forme pulvérulente de couleur noir rougeâtre soit en masse terne sans cristaux apparents ou encore en masses homogènes mais laissant apparaître une trame rhomboédrique héritée du minerai carbonaté. La couche intermédiaire entre les minerais primaire et secondaire constitue une partie importante des réserves de la mine.

Outre, le minerai de fer, il faut signaler une faible présence de minéralisation poly métallique (Pb, Cu...).

### **B. Réserves géologiques**

- Etat des réserves géologiques de fer du gisement : 78083014 T à une teneur moyenne
- De 49 % [14].
- Etat des réserves de fer exploitables du gisement :
- Minerai: 35364387 T, la teneur moyenne est de 50,5 %.
- Stérile: 118562665T.

#### **I.4.4.2. Minerai de fer Boukhadra**

Les gisements de minerai de fer, qui sont considérés comme la deuxième plus grande source de minerai de fer en Algérie après la mine d'Ouenza. Le djebel de Boukhadra est un massif isolé qui s'élève à 700-800 mètres au-dessus de la vallée de Morsott. Culminant à 1463m. Le gisement est situé entre les méridiens 8°-01' et 8°-04' Est et les parallèles 35° et 40' et 35° et 50' Nord. Le climat de la région est continental et sec, avec des températures variant entre 40°C en été et 0°C en hiver, avec peu de précipitations et occasionnellement de légères chutes de neige [15].

Le minerai de la mine de Boukhadra est situé à 40 kilomètres au nord de Tébessa, à 200 kilomètres au sud d'Annaba, à 18 kilomètres de la frontière Algéro-Tunisienne et à 45 kilomètres de la mine de fer d'El-Ouenza. Le minerai est dit mou avec une dureté de 3 à 6 et une densité de 2,7 à 2,9 t/m<sup>3</sup>. Il se compose de blocs anticlinaux de forme simple représentant les trois veines principales. Ces veines convergent vers l'ouest et forment des corps minéralisés de 250 à 300 mètres de long et d'environ 100 mètres d'épaisseur. L'angle d'inclinaison est de 50° à 70°. Ce gisement est entouré de gisements de gypse du Trias [3]. Le minerai de fer extrait est considéré comme un minerai à haute teneur (33-60%), dont une partie est utilisée pour alimenter le four sidérurgique d'El-Hadjar et dont une partie est extraite.

**A. L'exploitation de la mine de Boukhadra**

➤ **Exploitation à ciel ouvert**

La mine de Boukhadra est exploitée à ciel ouvert et souterraine, avec des réserves de fer d'environ 50 millions de tonnes et une teneur en fer de plus de 50 % [16].

Les travaux miniers sont actuellement réalisés au niveau de la principale mine à ciel ouvert, dont les trois emplacements (amont, aval et central) représentent les principales sources de minerai pour les mines de la région. (Quartier BKII, Quartier souterrain, quartier Ain Zazia).

➤ **Exploitation souterraine :**

En général, les gisements souterrains représentent plus de 60% des réserves totales du gisement de Boukhadra.

Les réserves géologiques et exploitables de la mine Boukhadra sont présentées au tableau suivant.

**Tableau I.9 :** Réserves géologiques et exploitables de la mine de Boukhadra (2022) [15].

<b>Site</b>	<b>Réserves géologique (Tonnes)</b>	<b>Fe%</b>	<b>Réserves exploitable (Tonnes)</b>	<b>F%</b>
<b>A ciel ouvert</b>	12 245 982	53,10	11 068 366	51 ,90
<b>Souterrain</b>	33 305 620	55,76	30 804 720	55,43
<b>Total mine</b>	45 551 602		41 804 086	

➤ **Minéralisation du gisement**

Le gisement de fer de Boukhadra est un gisement de type hydrothermal lenticulaire, d'une longueur variable de 900-2200 mètres et d'une puissance de 10-50 mètres ; sa minéralisation est de type fer hématite, de formule Chimique (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ; sa teneur moyenne est supérieure à 50 % [17].

**Tableau I.10 :** Composition chimiques de minerai de fer de Boukhadra [13].

Eléments	Fer	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P	S
Teneur %	52,03	3,75	7,30	0,29	1,59	2,78	0,005	0,002

#### **I.4.4.3. Le combustible**

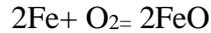
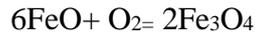
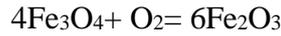
Afin d'assurer le frittage du lit de frittage, il doit y avoir une zone de combustion à haute température pour assurer le ramollissement de la surface des grains. En même temps, il élimine les substances volatiles de CO<sub>2</sub> et favorise la réaction redox de l'oxyde de fer. Le combustible utilisé dans le mélange du lit fritté est du coke fin métallurgique [4].

Le coke métallurgique joue un rôle fondamental dans la sidérurgie, qui fournit l'énergie nécessaire à la fusion des minerais et est également indispensable à la réduction des oxydes au niveau des hauts fourneaux [13]. A une haute résistance à l'écrasement et ne contient pas de substances volatiles qui forment des goudrons qui agglomèrent le matériau entrant dans le haut fourneau ; il est poreux pour faciliter sa combustion ; sa valeur calorifique est d'environ 7000 Kcal/Kg. La densité du coke est proche de 0,5 Kg/dm<sup>3</sup> [4].

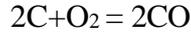
##### **➤ Caractéristiques et qualités demandées d'un combustible (coke) :**

Choix de réducteur

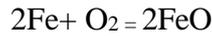
- Le carbone est le réducteur le plus puissant de tous les oxydes de métaux ;
- Le carbone se trouve en abondance dans la nature sous forme de charbon, pétrole et gaz ;
- Les charbons sont moins chers par rapport aux autres combustibles ;
- En raison de leur état solide, les charbons (coke, anthracite, etc...), s'adaptent bien à la sidérurgie classique (agglomération, haut fourneau) ;
- A un bon rendement ce qui équivaut à pas trop réactif à ce titre le coke de fluidisation avec grande porosité interne est trop réactif ;
- Tous les combustibles sont équivalents sur la base du carbone fixe et ont une faible teneur en cendres [10].



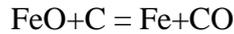
A 1000°C, ΔG de formation de CO à partir de la réaction :



Est plus négative que ΔG de formation de FeO à partir de la réaction :



Ainsi, CO est plus stable que le FeO et la réaction de réduction :



D'autre part la qualité chimique est déterminée par la teneur en carbone, en matière volatiles, en cendres de coke et la réactivité vis-à-vis de l'oxygène. Le combustible est caractérisé par deux masses l'une organique et l'autre minérale et une analyse chimique.

- Masse organique : Elle détermine la teneur en carbone, soufre, oxygène, hydrogène[1].
- Masse minérale : Elle contient les cendres de coke, qui contiennent à leur tour le soufre et le phosphore [4].

L'analyse chimique du coke détermine les cendres de coke, les matières volatiles, le soufre et l'humidité comme le montre le tableau suivant relatif à la composition chimique d'un combustible :

**Tableau I.11 : Résultats d'analyse chimique du combustible [13]**

<b>Eléments</b>	<b>Cendres</b>	<b>MV. sec</b>	<b>Carbone</b>	<b>H<sub>2</sub>O</b>	<b>Soufre</b>
<b>Taux %</b>	11,04	2,52	81,26	8,77	0,423

La qualité physique du coke est déterminée par deux paramètres :

- La porosité : C'est le volume du vide dans la masse du combustible. Elle est de l'ordre de 35-55%, elle joue un rôle important dans le processus d'agglomération.
- La résistance mécanique : la solidité du coke et la capacité de la résistance à la destruction, se mesurent par la variation de la granulométrie lors de la destruction artificielle de l'échantillon de coke [4].

L'analyse granulométrique des fines de coke 0-3mm est représenté dans le tableau suivant :

**Tableau I.12 : L'analyse granulométrique des fines de coke [13]**

Maille (mm)	<0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,5	3,5-5,0	5,8-8,0	>8	>3
Taux %	20,19	23,94	16,67	21,45	8,07	2,82	0,66	0,2	4,41

**Anthracite :**

C'est le type de charbon considéré comme ayant la valeur calorifique la plus élevée. Sa composition contient jusqu'à 95% de carbone. C'est le résultat des traitements qui sont faits au charbon. Sa couleur est noire brillante et sa texture est très dure [24].

**1.4.4.4. Les fondants**

Ce sont des produits complémentaires qui permettent la séparation des métaux de la gangue sous forme de laitier. Ajouter du fondant pour éviter la perte de fer. Le flux doit être déterminé en fonction de la nature de la gangue. La sélection de la bonne nature, de la quantité et du rapport d'additifs et de fondants pour un mélange donné de minéraux est une question très complexe. Elle ne peut être résolue qu'avec une connaissance très approfondie des lois physico-chimiques qui régissent l'équilibre entre les différents composés en présence. Cependant, on dit souvent que les composés formés par la réaction entre des minéraux acides et des minéraux basiques ont des points de fusion plus bas que ces minéraux ; le premier effet recherché, en ajoutant du fondant à un mélange de minéraux, serait d'ajuster le rapport entre les minéraux acides et les minéraux basiques de la couche de combustion ou de fusion, faisant ainsi la distinction entre flux basique et flux acide [13].

La sidérurgie exige des fondants de grande pureté, d'exploitation facile et localisés à proximité du lieu de consommation. Les principaux fondants sont :

- Acide : à base de silice, sable, quartz....
- Basique à base de chaux-dolomie....

### **A. Fondants basiques**

Comme le composant essentiel de la gangue, dans la plupart des minerais riches, est la silice, les flux basiques jouent un rôle très important dans la composition de la couche de fonte ou de fusion[13].

- Fondants calcaires : Le calcaire est un type de calcaire utilisé comme fondant de base, il est essentiellement composé de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  et de quelques impuretés, généralement de la silice et de l'alumine.
- La dolomite est principalement constituée de dolomite, le carbonate double de calcium et de manganèse  $(\text{Ca, Mg}) (\text{CO}_3)_2$  et est parfois utilisée comme fondant de base, à la fois calcaire et magnésium.

### **B. Fondants acides**

La silice est le minéral prédominant dans la gangue de la plupart des minerais aujourd'hui. Le flux acide est moins utilisé que le flux basique. Cependant, l'ajout de silice dans la zone d'élaboration ou de fusion est nécessaire dans les trois cas suivants [13]:

- Utilisation du minerai de calcaire.
- Utilisation de minerais à très haute teneur en fer mais la teneur en silicium dans le minerai fondu n'est pas suffisante pour obtenir une quantité de laitier suffisante pour éliminer certaines impuretés.
- Utilisation d'agglomérats très basiques présente certains avantages, mais il est nécessaire de corriger l'indice basique global du laitier en ajoutant de la silice avec le matériau pour le chargement direct. Selon les cas cités ci-dessus, la silice peut être ajoutée sous forme de sable, de quartz ou de silex calibré.

## **I.5. Procédés de traitement du minerai**

### **I.5.1. Réception du minerai 0-300 mm**

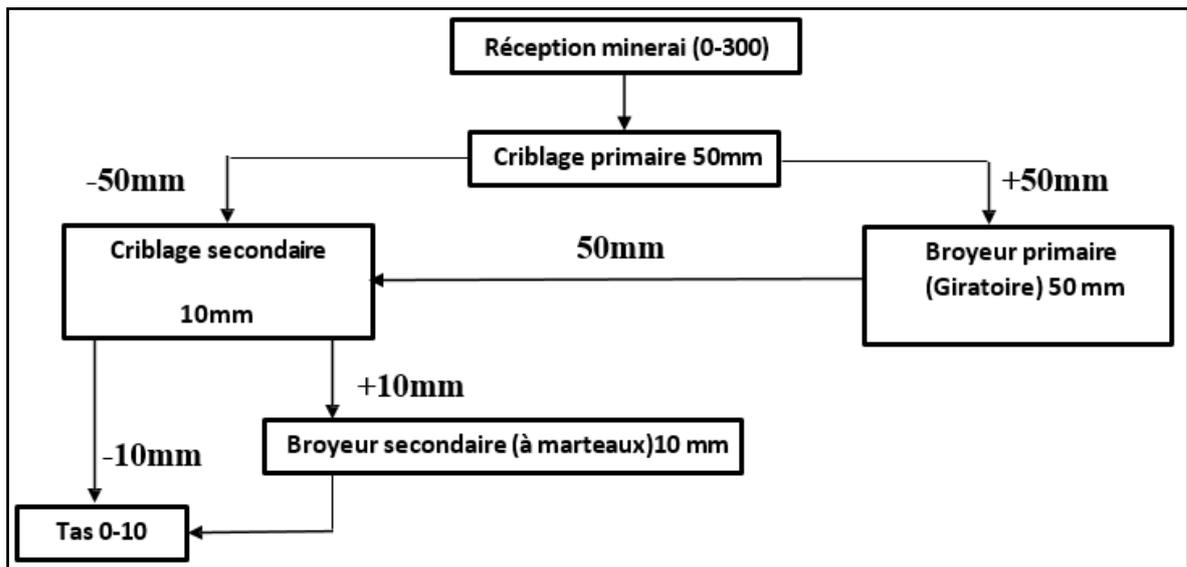
La réception du tout-venant se fait à chaque arrivée du wagon ou du camion, l'opération bascule procède à une vérification des documents d'accompagnement. Le déchargement du tout-venant s'effectue dans les trémies correspondantes à la ligne de traitement [4].

**I.5.2. Traitement du minerai [13]**

Les opérations principales de traitement du minerai se résument comme suit :

- La pré-homogénéisation du minerai qui consiste au stockage séparé du minerai 0-300 mm par origine ainsi du minerai riche.
- L'acheminement vers les broyeurs primaires (broyeur giratoire), le broyage primaire doit permettre l'obtention de la tranche granulométrique 0-50 mm à partir du minerai 0-300 mm reçu des différentes mines (OZ-BK).
- Acheminement vers les broyeurs secondaires (broyeur à marteaux), le broyage secondaire nous permet d'obtenir la tranche granulométrique 0-10 mm à partir du minerai 0-50 mm provenant des broyeurs primaires.
- Le criblage et séparation des matières.

Le schéma technologique résumant la préparation mécanique du minerai dans la division PMA est représenté par la figure suivante :



**Figure I.3 :** Schéma technologique de la préparation mécanique du minerai

**I.5.3. Mise en tas et alimentation des secteurs d'agglomérations**

Cette phase a pour but d'assurer dans le tas une teneur en Fer de 48 % et un IP de 1 à 1,10 indispensables pour la bonne marche du procédé de l'agglomération [12].

La formation d'un tas dépend des plusieurs paramètres dont :

- La longueur du tas
- La hauteur du tas
- Le tonnage à programmer

En général la hauteur du tas varie de 9 à 12 m, dépendant de la saison, pendant la période hivernale celle-ci ne doit pas atteindre 12 m. Quel que soit la longueur du tas et sa hauteur les premières couches doivent être faites par du minerai Ouenza et Boukhadra, ces dernières doivent occuper 10 % de la hauteur du tas avant l'injection des additifs [4]. Lors de la mise en tas, la composition du tas en termes de pourcentage (poids) en éléments est la suivante :

- 22,83 % du minerai Boukhadra
- 68,43 % du minerai Ouenza
- 5,24 % Fine de retour
- 1,12 % Calamine
- 1,12 % Poussière de gaz
- 0,5 % Boue du rejet du haut fourneau

Après traitement, le minerai 0-10mm sera mis en tas à l'aide d'un Jet qui le constituant par maille. Une fois le tas formé, il y a le processus de récupération du minerai à l'aide de la roue de pelle. Son but est double, d'une part homogénéiser le minerai à l'aide de la machine Herze (Figure I.4) par son mouvement alternatif et d'autre part récupérer le minerai homogène pour alimenter la zone d'agglomération (avec des températures atteignant 1250 °C) [4].



**Figure I.4 : Mise en tas**

Après traitement, le minerai 0-10mm sera mis en tas à l'aide d'un Jet qui le constituant par maille. Une fois le tas formé, il y a le processus de récupération du minerai à l'aide de la roue de pelle. Son but est double, d'une part homogénéiser le minerai à l'aide de Herze par son mouvement alternatif et d'autre part récupérer le minerai homogène pour alimenter la zone d'agglomération (avec des températures atteignant 1250°C). [1]

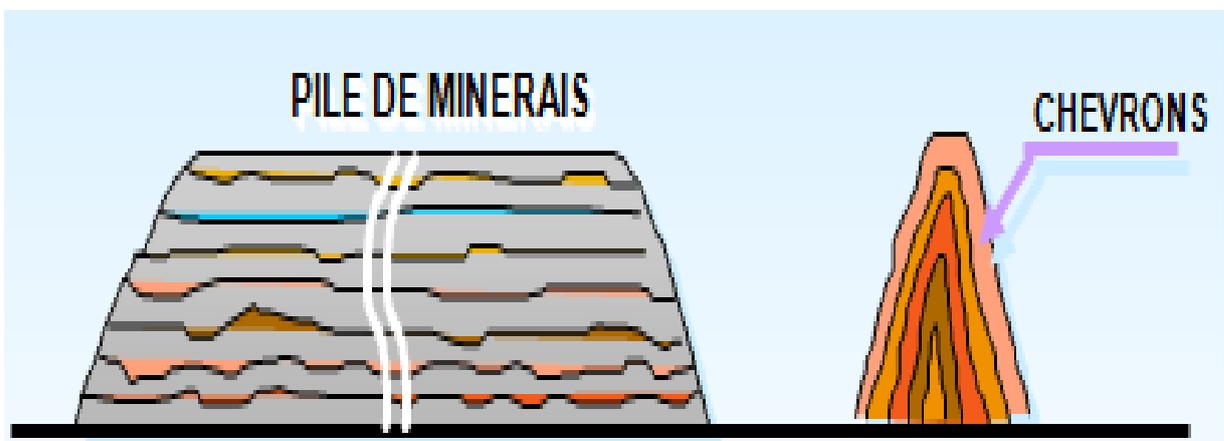


**Figure I.5 :** La machine Herze servant à homogénéiser les différentes couches [13].

### **Le but de l'homogénéisation**

Est la préparation qualitative et quantitative d'un mélange constitué de différents matériaux (minerais, additions, produits récupérés) dans des dosages déterminés par le secteur d'agglomération par la teneur chimique ou la granulométrie de ceux-ci

Le tas est constitué de "chevrons superposés". C'est la méthode la plus simple et la plus utilisée. [3]



**Figure I.6 :** Technique de mise en tas

**Machines de mise en tas et de reprise :**

**Machine de mise en tas :** la bande de mise en stock monte sur un chariot solidaire de la machine de mise en tas, elle alimente par l'intermédiaire d'une trémie de passage d'une bande flèche orientable.

La machine est prévue pour effectuer automatiquement les trois mouvements suivant :

- Mouvement de relevage de la flèche en fonction de la hauteur du tas (présence d'une sonde).
- Mouvement de translation le long du tas.
- Mouvement de rotation de rotation par l'intermédiaire d'une couronne dentée. [3]



**Figure I.7 :** Mise en tas à l'aide d'une JET

**Machine de reprise des tas :** ce sont des machines type roue-pelle, cette dernière étant montée à l'extrémité sur des rails. La roue est équipée de plusieurs godets qui se déversent sur le tapis.

Les mouvements prévus de la machine sont similaires au cas précédent (flèche orientable dans le sens vertical, translation de la machine). [3]



**Figure I.8 :** Reprise du minerai homogénéisé par la Roue pelle

### **I.6. Secteur coke**

Le secteur a pour mission d'alimenter les hauts fourneaux en coke, le secteur agglomération en fines de coke et additions selon leurs exigences. Ses activités sont:

- La gestion de la zone de stockage et des installations de traitement du coke.
- La réception et déchargement de coke, fines de coke et additions.
- L'extraction, criblage et broyage du coke.
- L'alimentation des silos des hauts fourneaux en coke et additions. L'alimentation des silos d'agglomération en fines de coke et additions.

Le coke (granulométrie  $-60 + 0$  mm) importé par le port d'Annaba est utilisé comme combustible compte tenu de la fermeture actuelle de la cokerie. Le coke métallurgique est le principal combustible de haut fourneau [4].

Le produit ( $+ 20$  mm) est introduit directement au haut fourneau, le passant ( $-20$  mm) est broyé en circuit fermé jusqu'à une granulométrie de  $-3 + 0$  mm (fines de coke), expédié au secteur aggloméré [4]. Le schéma technologique de préparation mécanique du coke est dressé dans le schéma ci-après :

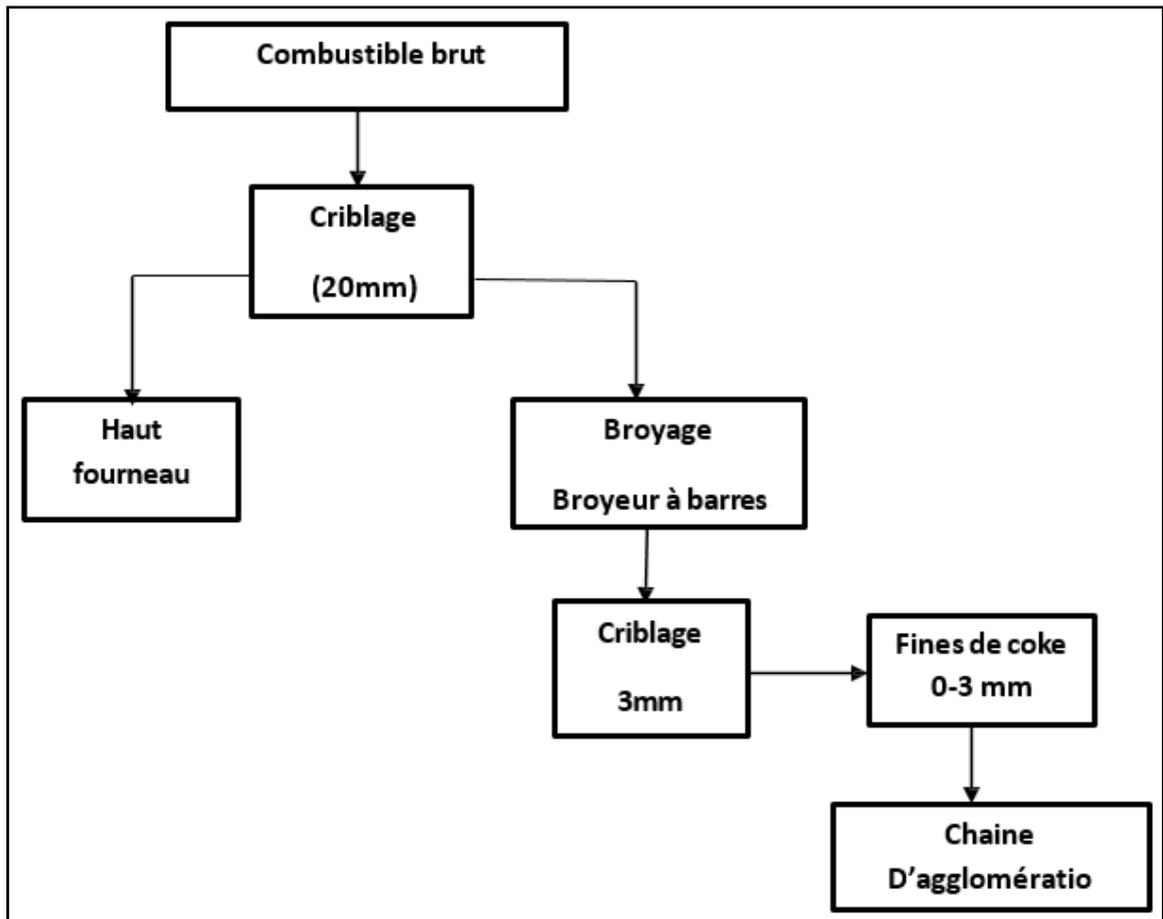


Figure I.9 : Schéma technologique de préparation mécanique du coke.

## I.7. Secteur agglomération

La PMA possède deux zones d'agglomération du minerai de fer AG1 et AG2 ; ce secteur est la plaque tournante de la PMA et de l'alimentation des haut-fourneaux[12].

Cette unité joue un rôle très important dans la sidérurgie, il permet le traitement thermique du minerai de fer. C'est un procédé pour charger un produit calibré dans le haut fourneau (c'est-à-dire éliminer les fines, même inférieures à 5 mm) et éviter les fondants carbonatés (calcaire et la dolomite). Il permet également d'élaborer un produit artificiel contenant, à côté du fer, en général sous forme d'oxyde, un pré laitier (de haut fourneau), en général basique, pour tenir compte de l'introduction au haut fourneau du coke avec ses cendres acides. Ce procédé a pour but :

Transformer le minerai de fer sous forme d'agglomérats pour augmenter la teneur de fer d'une part et faciliter le fonctionnement du haut fourneau d'autre part.

Récupération tous les déchets pulvérulents riches en fer de l'usine sidérurgique (poussières de gaz de gueulard, poussières d'aciérie, battitures de laminage (calamine)). Ces matières sont mélangées avec les fins de minerais avant frittage et entraînent une économie importante de minerai. Améliorer les conditions de fonctionnement de l'Hf (diminuer la mise au mille du coke et augmenter la productivité).

L'agglomération repose essentiellement sur quatre étapes représentées dans le tableau suivant :

**Tableau I.13** : Les différentes étapes d'agglomération

<b>Les séquences</b>	<b>Les étapes d'agglomération</b>
<b>Séquence</b> « 1 »	Stockage, dosage, humidification et préparation du mélange Homogénéisation
<b>Séquence</b> « 2 »	Cuisson, frittage du mélange
<b>Séquence</b> « 3 »	Conditionnement de l'aggloméré
<b>Séquence</b> « 4 »	Récupération des fines de retour chaude et acheminement du Bedding

La figure (I.6) suivante montre chaque étape d'agglomération dans le complexe sidérurgique.

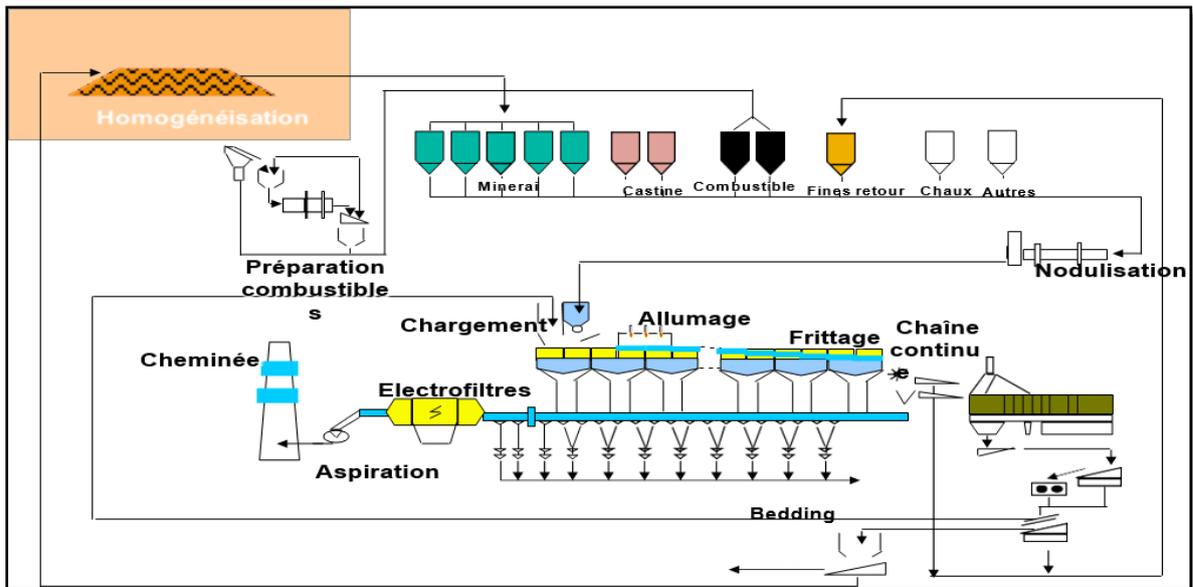


Figure I.10 : Schéma des étapes d'agglomérations [12].

### I.7.1. Séquence « 1 » : Préparation du mélange

#### A. Stockage

L'installation de stockage en amont de l'agglomération est constituée de plusieurs trémies (minerai homogénéisés, combustible, fondant et additifs divers éventuels, fines de retour) alignées et alimentées par des transporteurs[13].

#### B. Dosage

Dans la plupart des cas, le dosage des différents composants de la charge est réalisé à l'aide de dosimètres. Pour chaque bande d'extraction d'ingrédients, une dynamo tachymétrique contrôle la vitesse et le pesage est assuré par des rouleaux peseurs à jauges de contrainte[13].

Après avoir reçu les fines de retours et de castine ou de sable (selon le cas) avant l'entrée du réservoir de mélange, le matériau est amené au réservoir de mélange par un convoyeur.

#### C. Humidification, malaxage et nodulisation du mélange

Cette opération a pour but de rendre la charge perméable grâce à un micro bouletage des particules de matériau en présence d'eau.

Cette opération se fait dans des tambours des appelés noduliseurs, ou rarement dans des soucoupes.

On distingue généralement une phase de malaxage et une phase de nodulisation. Il peut y avoir un seul grand tambour, deux tambours emboîtés ou séparés.

### ➤ L'humidité du mélange

Pour chaque mélange minéral il est nécessaire de trouver l'humidité qui permettra d'obtenir un meilleur micro-bouletage, s'effectue dans la partie postérieure du mélangeur. Donc une productivité maximale.

### ➤ 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 micros boulettes sont constituées d'un noyau autour duquel se collent les fines particules[13].

La figure (I.7) suivante montre le mélangeur de micro bouletage.

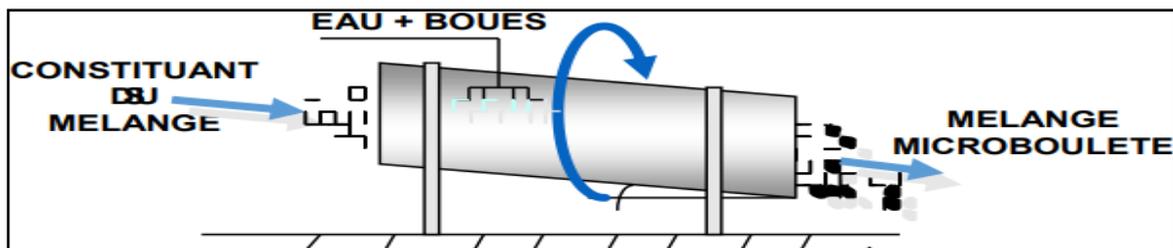


Figure I.11 : Tambour pour nodulisation [7].

### I.7.2. Séquence « 2 » Cuisson, frittage du mélange

C'est la partie la plus importante du processus, car même si le mélange est bien fait et a un bon indice basicité, il a besoin d'une bonne cuisson pour répondre aux exigences du haut fourneau. Cette cuisson se fait sur la chaîne d'agglomération[13].

#### A. Chargement

Le phénomène étudié est le dépôt en continu d'un lit de mélange de micro boulettes sur une grille mobile, protégée par une couche d'agglomérat recyclé [13].



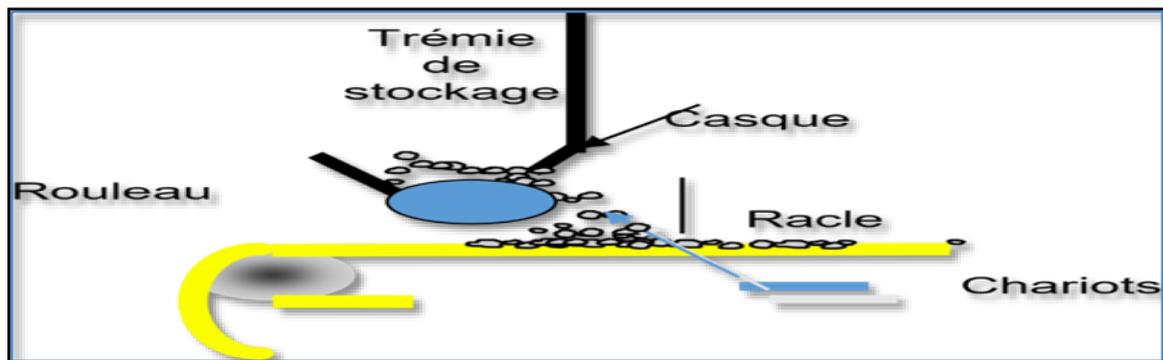
Figure I.12: Processus de chargement [12].

### **I.7.3. Chargement de la couche de protection (bedding)**

Couche de grille est constituée d'agglomérat recyclé, de granulométrie comprise entre 15 et 25 mm ; elle forme un lit de  $\pm 3$  cm de hauteur.

- Le rôle de la couche de grille est d'empêcher le mélange de traverser la grille ;
- Protéger thermiquement les barreaux de la grille en absorbant une partie de la chaleur des fumées ;
- Evite le collage pour faciliter l'e 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. Cette couche favorise un meilleur écoulement des gaz.

La figure (I.9) suivante montre Chargement de la couche de protection



**Figure I.13:** Chargement de la couche de protection Bedding [13]

#### **A. Alimentation du mélange**

A la sortie de nodulisateur, le mélange fini, dont la température varie entre 20 et 60°C, est acheminé en tête de ligne à faible vitesse par des transporteurs de grandes largeurs afin de ne pas détruire les micronodules.

Ce mélange est déposé par l'intermédiaire d'une bande navette ou convoyeur oscillant dans une trémie sur pesons de faible capacité en tête de chaîne.

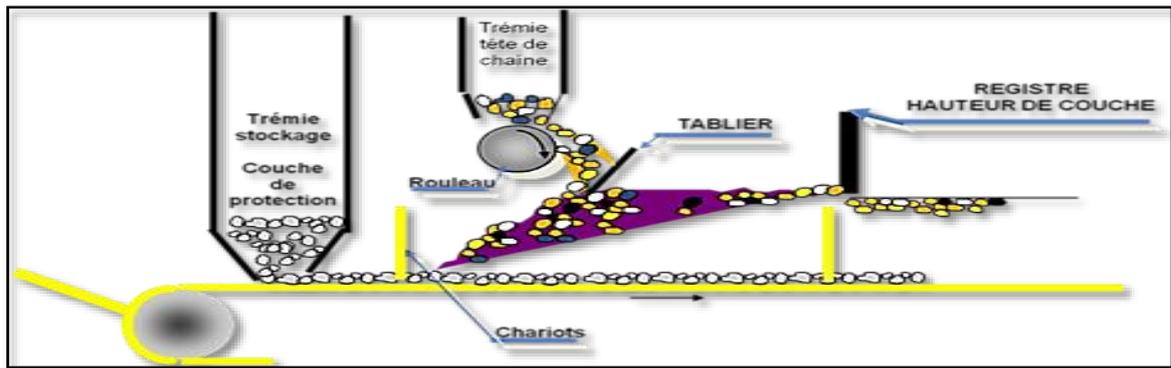


Figure I.14 : Alimentation de la chaîne d'agglomération [13]

### B. Hotte d'allumage

- Elle est composée de 12 brûleurs fonctionnant au gaz naturel.
- La surface de la hotte est de  $4 \times 7 = 28 \text{ m}^2$ .
- Elle est équipée d'un système de soutirage des fumées en cas de surpression par l'intermédiaire d'un ventilateur aspirateur.
- D'un revêtement interne de briques réfractaires.

La figure (I.11) suivante montre l'allumage du mélange à agglomérat

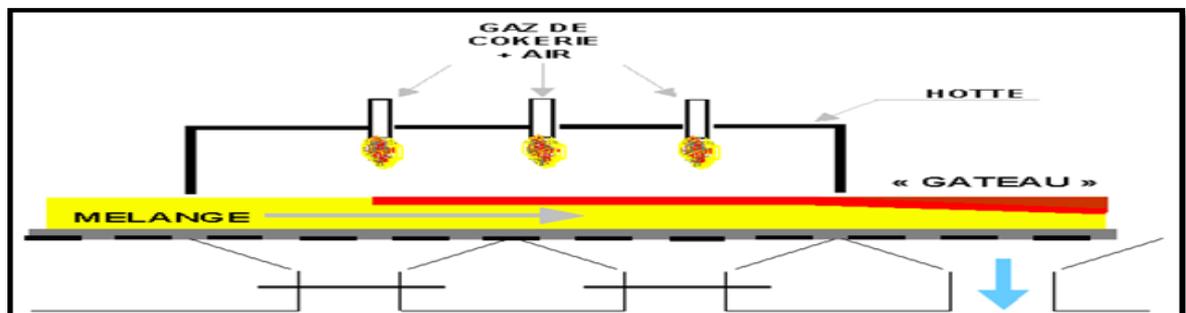


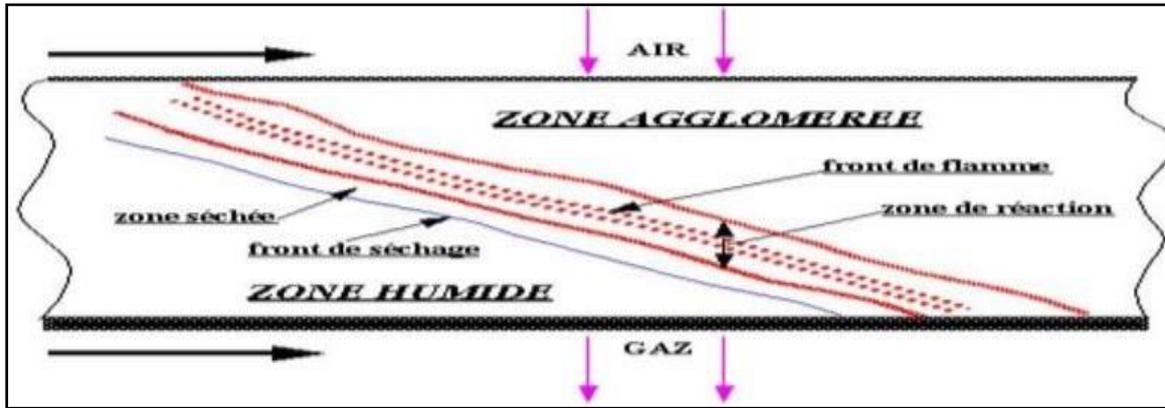
Figure I.15: Allumage du mélange à agglomérat [13]

### C. Le frittage Définition

Transformation physico-chimique du mélange déposé sur chaîne en agglomérat. Elle est obtenue par passage à haute température. Le frittage implique la zone entre la hotte d'allumage et l'extrémité de la chaîne [13].

**I.7.4. Principe de base**

Le processus de frittage se produit en aspirant l'air ambiant à travers le ventilateur de cuisson et en propageant un front de flamme du haut vers le bas de la couche. L'allumage initialise le front de flamme. La figure (I.8) suivante montre le fonctionnement de frittage



**Figure I.16:** Frittage de l'agglomérat [13].

Si on coupe une tranche de la charge en cours d'agglomération, on peut la diviser en 5 zones [9] :

- Couche de protection de la grille (bedding).
- Zone humide (mélange sur humidifié).
- Zone d'échauffement rapide (zone sèche).
- Zone à haute température (front de flamme).
- Zone de refroidissement (agglomérat).

Les réactions chimiques caractérisant le processus d'agglomération sont résumées dans le tableau suivant :

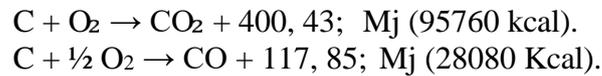
**Tableau I.14 :** Les réactions chimiques caractérisant le processus d'agglomération

	100 °C	Evaporation de l'eau
	330 °C	Déshydratation de la limonite ( $Fe_2O_3 ; nH_2O$ )
		Déshydratation de la goethite ( $Fe_2O_3 ; nH_2O$ )
	530 °C	Déshydratation de la chiorite
		Décarbonatation de la sidérose ( $FeCO_3$ )
	600 °C	Réduction de l'hématite ( $Fe_2O_3$ ) en magnétite ( $Fe_3O_4$ ) par CO
	700 °C	Inflammation du coke

Temps	1150 °C	Formation des laitiers primaires
	>1200 °C	Dissolution des oxydes de fer
	1150 °C	Formation des silicates et des ferrites
	500 °C	Réoxydation de la magnétite

La zone du gâteau qui est soumise à des températures élevées (>1200°C) s'appelle le front de flamme. C'est la zone où se situe le mécanisme de frittage, entraînant la formation d'un gâteau poreux (agglomérat). Les phénomènes physico-chimiques les plus importants dans le processus d'agglomération sont les suivants :

#### **A. Combustion du carbone dans la zone de frittage**



La combustion du carbone dans le lit de la charge diffère de la combustion dans le four car elle implique des réactions d'oxydation et de réduction des oxydes de fer, de dissociation des carbonates et de formation de phases liquides. Les fumées peuvent contenir de 3 à 5 % de CO.

Lors de l'élaboration de l'agglomérat auto-fondant, la teneur en CO<sub>2</sub> dans les fumées atteint 16-25% et le rapport CO<sub>2</sub>/CO atteint 4,5 – 6,5. Les fumées contiennent, en plus, l'azote, l'hydrogène et l'oxygène.

#### **B. Dissociation thermique des carbonates**

(CaCO<sub>3</sub> ; MgCO<sub>3</sub> ; FeCO<sub>3</sub> et MnCO<sub>3</sub>) et l'élimination des matières volatiles sous l'effet de la haute température, se fait conformément à la réaction générale :



Où:

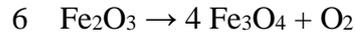
Me-Métal

Q - La chaleur de la réaction

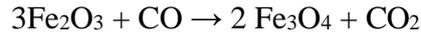
**C. Dissociation thermique et réduction des oxydes de fer**

Dans le cas de l'utilisation des minerais hématite,

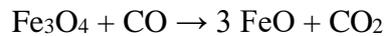
L'oxyde ferrique se transforme magnétite soit par dissociation thermique selon la réaction :



Soit par réduction conformément à la réaction :



– L'oxyde magnétique formé est, à son tour, réduit partiellement en oxyde ferreux (wustite) suivant la réaction :

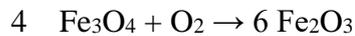


– La réaction chimique est grâce à la formation de la solution 'fayalite'  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  :



L'oxyde FeO peut former, avec les autres oxydes, des combinaisons fusibles et permet l'apparition de phases liquides.

Au cours du refroidissement de fer l'aggloméré, une partie de l'oxyde magnétique se transforme en oxyde ferrique secondaire sous l'action de l'oxygène de l'air aspiré:

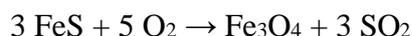
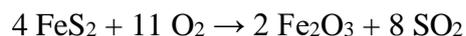


Les morceaux d'aggloméré produits sont enrobés par l'hématite secondaire, ils contiennent entre autre les oxydes  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  et FeO.

**D. Interaction des impuretés avec les gaz et la charge**

Le soufre présent dans la charge sous forme de sulfure de fer et de calcium ( $\text{FeS}_2$ , FeS, CaS) ou sulfate de calcium et de baryum ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ) est presque totalement éliminé (jusqu'à 90 %) sous forme de gaz[18].

L'élimination se produit suivant les réactions chimiques :



### **I.7.5. Séquence 3 : Conditionnement de l'agglomérat**

#### **A. Station de déversement de la chaîne**

Au bout de la chaîne, le gâteau d'agglomérat glisse sur le tablier et tombe sur la grille. Il est ensuite brisé par l'intermédiaire d'une brise mottes pour faciliter les étapes ultérieures de manutention et de conditionnement. Un brise-mottes ou hérisson se compose d'un arbre et nombreuses étoiles dentées, dont l'intérieur est refroidi à l'eau. Le dispositif est conçu pour limiter la taille des blocs à 250 mm[9].

#### **B. Criblage à chaud**

Généralement, les installations d'agglomération sont équipées de cribles vibrants. Le criblage peut se faire en deux cribles en série ou sur un crible à 2 étages.

Le tamisât des cribles à chaud tombe dans le circuit des fines de retour chaudes, alors que le refus tombe dans le refroidisseur.

#### **C. Refroidissement de l'agglomérat**

L'agglomérat granulométrie de 5 à 250 mm sont versés dans un refroidisseur, et l'air est aspiré d'un ventilateur d'un débit de 580 t/h et d'un diamètre de 22 mm et une vitesse de rotation 4-8 tr/mn. Pour abaisser la température du produit à 150°C ou moins.

#### **D. Criblage à froid**

Le criblage à froid a pour but d'assurer un calibrage spécifique des agglomérée (Pas de gros, pas des fines) pour une utilisation dans le haut fourneau La figure 12 présente le synoptique de conditionnement de l'agglomérat. La figure (I.13) montre les étapes de conditionnement de l'agglomérat.

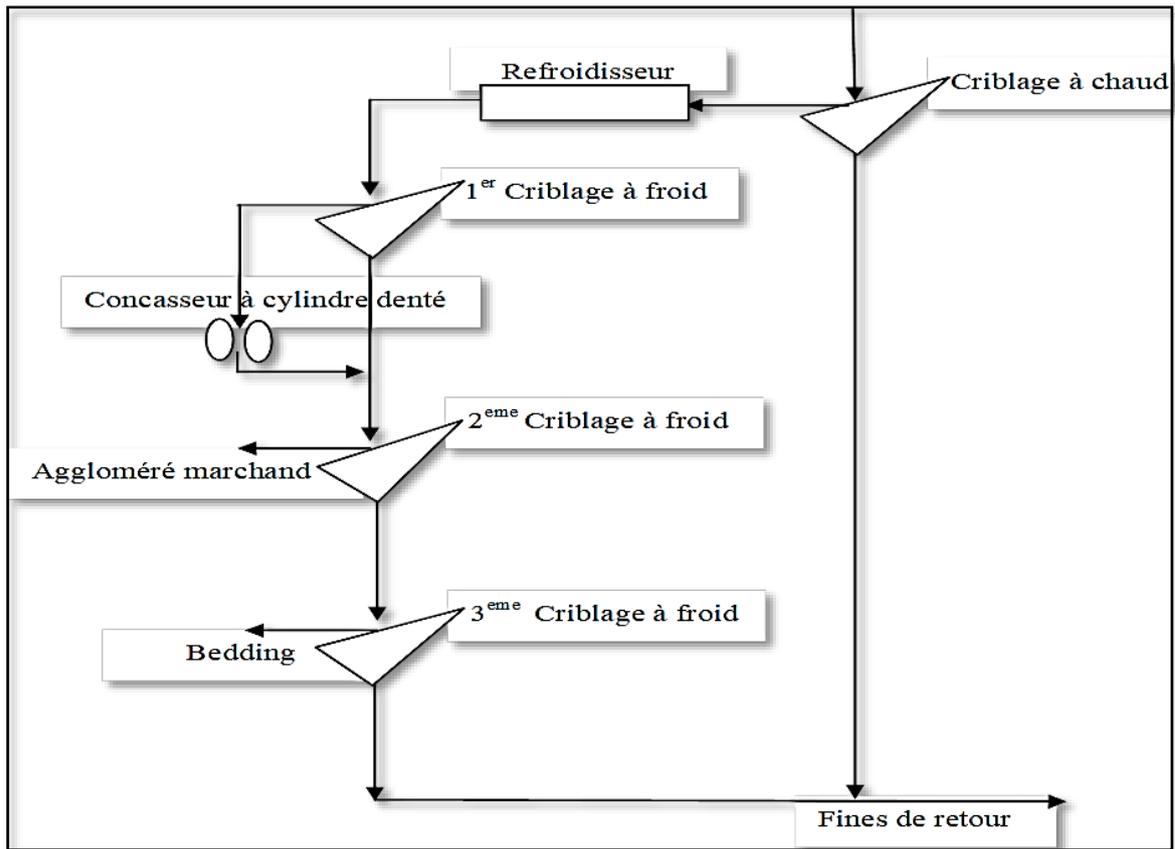


Figure I.17: Les étapes de conditionnement de l'agglomérat [6].

#### I.7.6. La séquence 4

C'est la séquence de récupération des fines de retour chaude et la protection des grilles et pour la protection des grilles vent par le crible qui a deux mailles 15 et 25 pour alimenter le silo 24 ce dernier va décharger le BIDDING sur l'extracteur puis transporteur vers un silo

## **Conclusion**

Les procédés d'agglomération de fer, tel que la granulation, le frittage et l'agglomération par grille, sont des méthodes essentielles pour transformer les fines de minerai de fer en agglomérats plus gros et maniable. Chacun de ces procédés présente des avantages et des inconvénients en termes de cout, de qualité du produit final et d'impact environnemental. Les producteurs d'acier doivent choisir le procédé d'agglomération le mieux adapté à leur besoin en fonction de ces facteurs.

En général, ces procédés sont utilisés pour produire des matières premières de haute qualité pour la production de fonte et d'acier. Cependant, des efforts continus sont nécessaire pour améliorer la durabilité et la rentabilité de ces procédés d'agglomération de fer restent des éléments clés de l'industrie sidérurgique et doivent continuer à évoluer pour répondre aux besoins de cette industrie en constante évolution.

Dans le procédé d'agglomération le minerai fer doit être de faible granulométrie afin de transformer des minerais de fer en agglomérés avec des propriétés physique, chimique et qui répondre aux exigences de haut Fournaux pour l'utiliser dans la production de fonte et d'acier. Les matières premières telles que le minerai de fer, le coke et le fondant (sable, castine) sont préparées de manière spécifique pour optimiser le processus d'agglomération.

## *Chapitre II*

# *Présentation du complexe sidérurgique SIDER EL HADJAR*

### **Introduction**

Ce chapitre donne une vue d'ensemble du complexe sidérurgique, en particulier de la structure PMA, qui a pour rôle de produire la matière première des hauts fourneaux.

Les gisements d'Ouenza et de Boukhadra dans la région de Tébessa fournissent tous les besoins en minerai de fer d'El-Hadjar. La mine à ciel ouvert d'Ouenza fournit à elle seule plus de 80 % du minerai de type hématite. Le minerai est ensuite transporté par train jusqu'à l'usine d'El-Hadjar où il est transformé en aggloméré. Le secteur PMA (Préparation des matériaux et des agglomérats) assure la manutention et la transformation de matière pour l'alimentation des hauts fourneaux pour la production de fonte.

### **II.1. Historique du complexe sidérurgique d'El-Hadjar**

L'Entreprise Nationale d'Acierie d'El-Hadjar (ENS) a été créée en 1959 par la Bônoise Steel Company (SBS). Avec la nationalisation d'Algérie Patrimoine, elle devient la Société Nationale de l'Acier (SNS). Il comporte une section qui est le noyau de toute l'usine[4]: la préparation des matériaux et des agglomérats appelée PMA.

En 1969, l'usine connut un essor très important, construisant un poteau en acier à El Hadjar pouvant faire face aux différentes gammes de produits et devint SIDER. L'activité du complexe El-Hadjar depuis 1969 s'est développée au fil des années, leur permettant de répondre à la demande croissante de produits sidérurgiques pour la réalisation de plusieurs programmes de développement (installations pétrolières, etc). L'année a marqué la fin d'une ère où la maîtrise de la technologie était l'objectif du gestionnaire moyen, et le début d'une ère où le premier objectif était le premier objectif est d'augmenter la capacité de production en améliorant les conditions de travail et en résolvant tous les problèmes techniques [1].

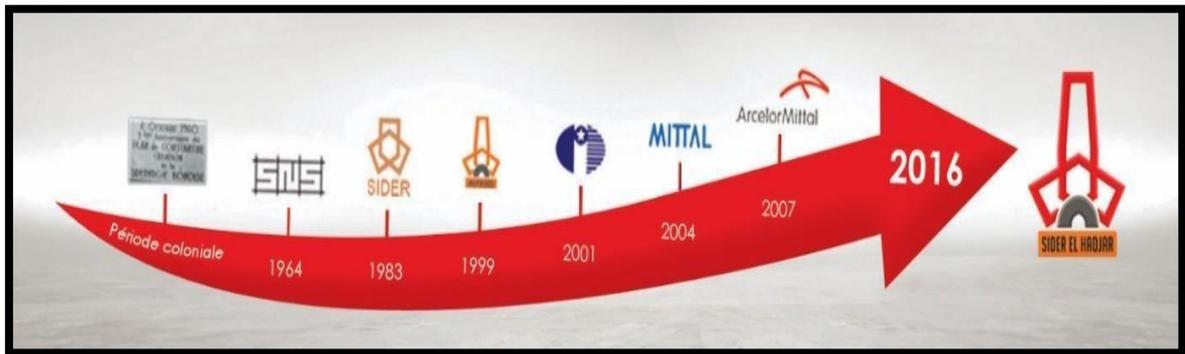
En 1983 est une année de grande réussite pour le complexe, et suite à la création de SNS, l'usine subit une refonte complète, ce qui en fait un complexe intégré. Le début janvier 1999 a marqué le démarrage de 25 entreprises industrielles indépendantes supprimant les sous-régies et formant des filiales [1].

Le 18 octobre 2001, SIDER a signé un contrat de partenariat avec LNM Holdings Group pour créer ISPAT Group (Indian Group) Annaba. LNM détient 70% du capital social et SIDER en détient 30%. La nouvelle société regroupe les filiales SIDER liées au cœur

de métier de la sidérurgie : Alfasid, Almain, Gessit, IMAN, AMM, Comersid, Alfatub, Cryosid, Coprosid et Fersid). Ispat Tébessa a été créé en même temps. Le produit d'une collaboration entre (70%) LNM et FERPHOS (30%) matière première provient des minerais de fer de Ouenza et de Boukhadra.

En 2004, la société change de nom après la fusion de LNM Holdings et ISPAT International. En 2006, la France s'est associée à Mittal pour restructurer l'industrie sidérurgique. Il s'appelle ARCELOR MITTAL. En octobre 2013, après la signature d'un accord stratégique par Arcelor Mittal et Sider, l'entreprise a changé de nom : la participation d'Arcelor Mittal dans l'entreprise est passée à 49 % et celle de Sider à 51 %. En août 2016, la société est devenue 100% algérienne suite à la signature d'un accord de transfert de toutes les actions précédemment détenues par Arcelor Mittal au groupe public IMETAL.

La figure (II.1) représente le développement de SIDER EL-HADJAR



**Figure II.1 : Historique de SIDER EL HEDJAR [4]**

### **II.2. Situation géographique**

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar est situé dans la zone industrielle d'Annaba, dans l'est de l'Algérie, à 15 kilomètres au sud de la ville. Parmi eux, SIDER détient 30% des actions et Arcelor Mittal détient 70% des actions. Il couvre une superficie de 800 hectares, dont [13]:

- Atelier de production couvrant une superficie de plus de 300 hectares
- Le site de stockage couvre une superficie de près de 200 hectares

L'administration et autres services se partagent les 200 hectares restants et près de 100 kilomètres de routes permettant la circulation des engins et des véhicules personnels.

Il existe près de 60 kilomètres de voies ferrées pour la libre circulation des matières premières, et près de 100 kilomètres de routes pour la circulation des engins et des véhicules particuliers.

La figure (II.2) représente la situation géographique de SIDER EL-HADJAR

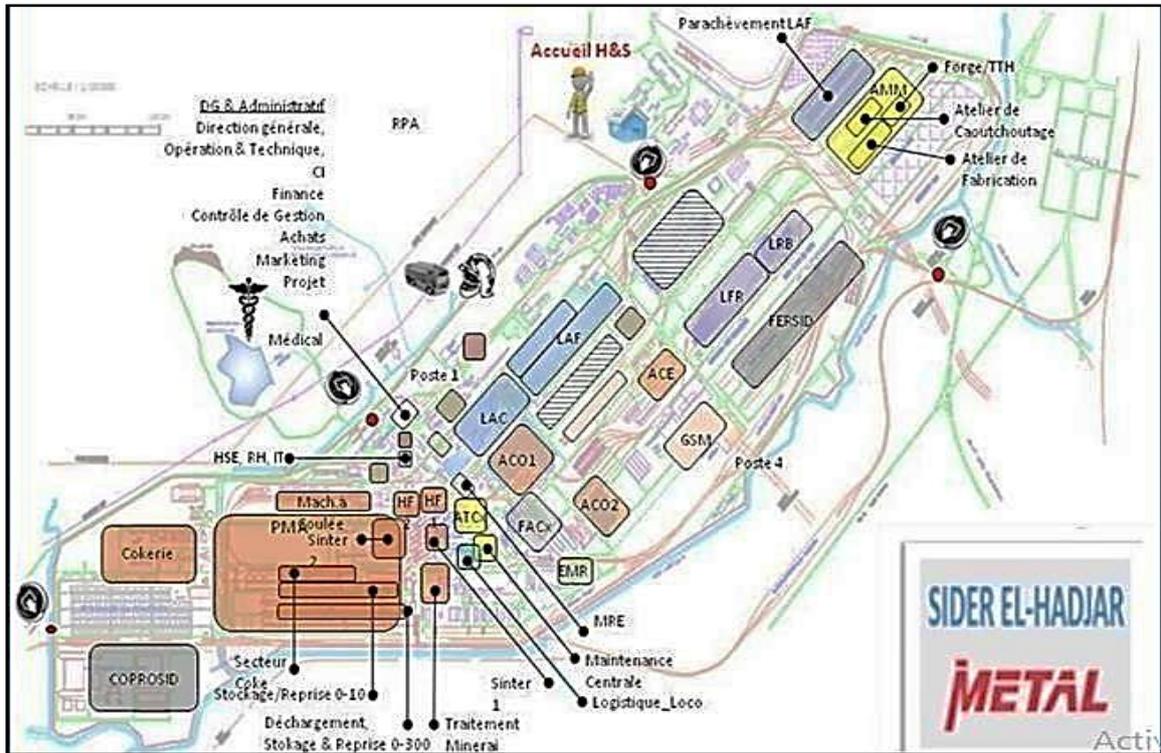


Figure II.2 : Schémas présentant les différents ateliers et secteurs du complexe [20].

### II.3. L'objectif du complexe

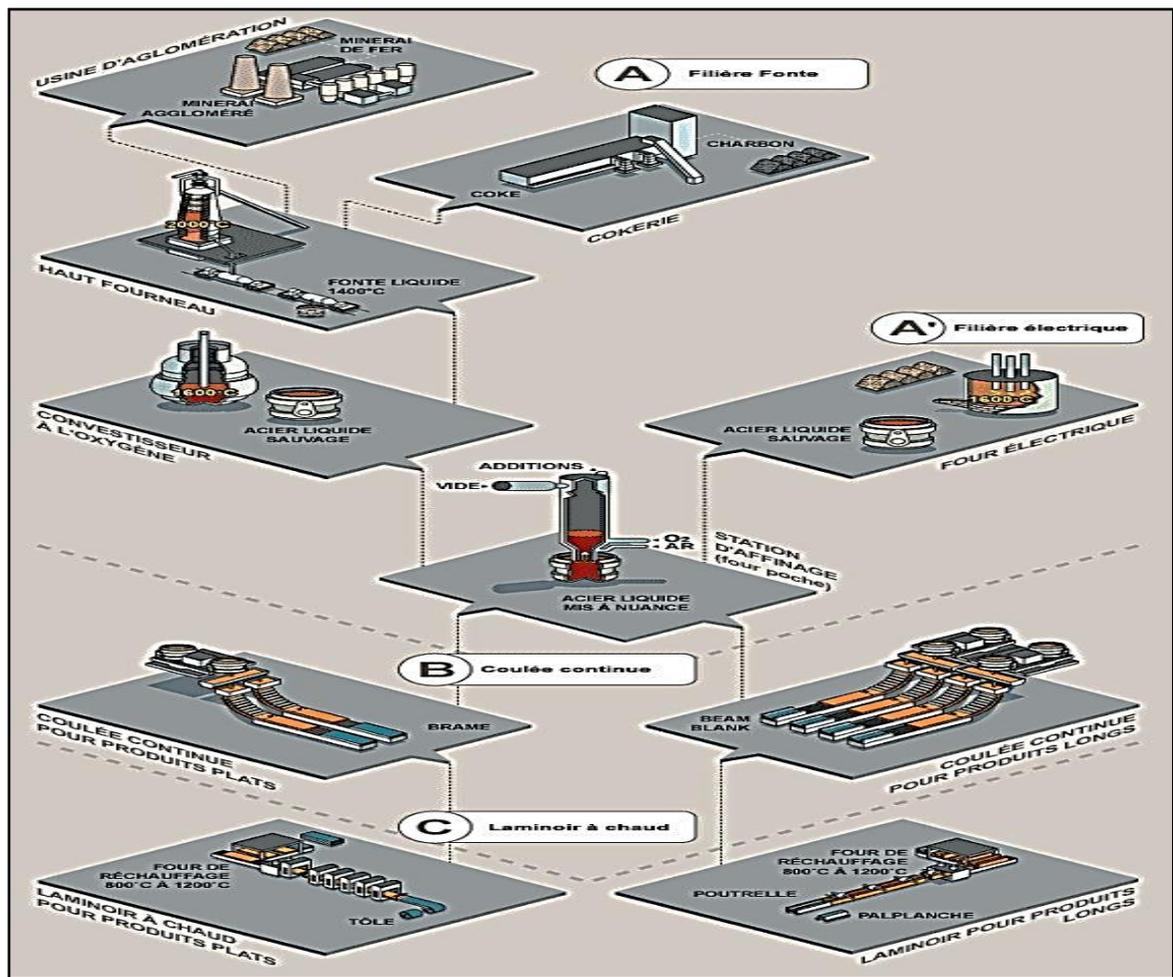
La perspective de l'adhésion de l'Algérie à l'Organisation mondiale du commerce (OMC) et au traité d'association avec l'Union européenne présente des défis majeurs qui doivent être relevés. Face à cette situation, les parties prenantes se sont mises d'accord sur un projet collaboratif pour assurer la pérennité de la sidérurgie en l'intégrant dans l'inévitable processus de mondialisation[12].

### II.4. Produits du complexe

La capacité nominale de production d'acier de l'entreprise est de 1,8 million de tonnes. SIDER EL-HADJAR propose une gamme de produits :

- Bobines et tissus laminés à chaud : construction mécanique, métallurgie, chantiers navals et industries de transformation (tuyaux, bouteilles de gaz).
- Toiles fines et bobines laminées à froid.
- Toile nervurées.
- Tubes, fil machine et rond lisse.
- Rond à béton.

La figure (II.3) suivante présentes les différents produits de SIDER EL-HADJAR

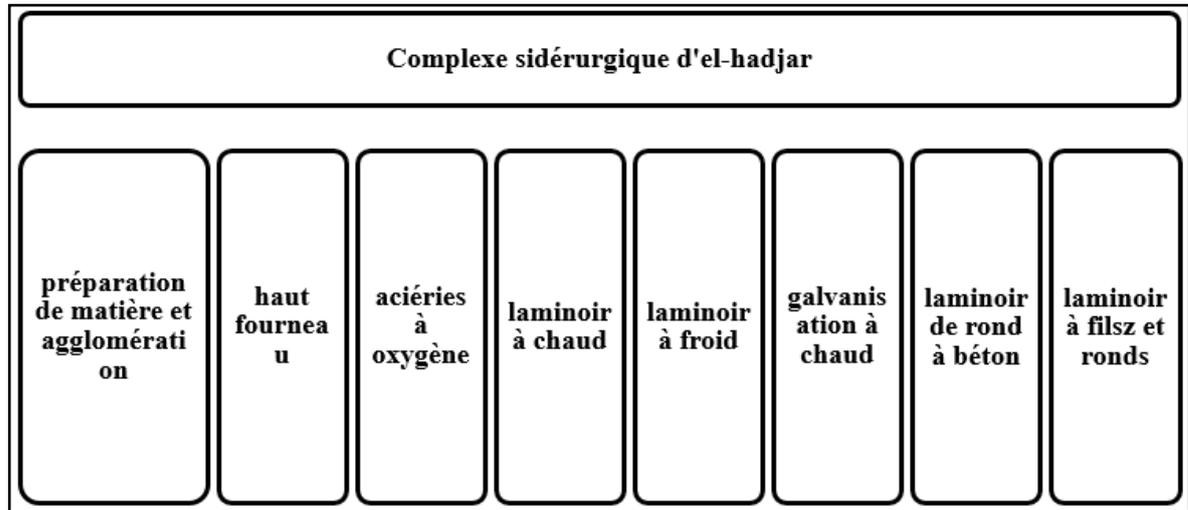


**Figure II.3** : Les différentes structures du complexe d'El-Hadjar [12].

Le complexe comptait plus de 16 000 travailleurs, qui ont été réduits à environ 5.000 travailleurs en raison de problèmes économiques, car de nombreux travailleurs sont partis volontairement. Cette entreprise a une capacité de production nominale de 1,2 Million de tonnes de produits sidérurgiques [12].

## Chapitre II Présentation du complexe sidérurgique *SIDER EL HADJAR*

L'Organigramme du complexe sidérurgique SIDER. El-Hadjar traçant les différentes divisions existant dans le complexe est présenté sur la figure II.4.



**Figure II.4 :** Organigramme du complexe sidérurgique SIDER El-Hadjar [20].

Le tableau (II.1) représente les installations du SIDER EL-HADJAR et leur destination et leurs principales utilisations.

**Tableau II.1 :** Les différents produits du complexe [12].

Installation	Produit	Destination	Principaux utilisateurs
PMA	Agglo	Haut fourneau	Métallurgie
HF 2	Fonte	ACO1/ACO2/Aciérie électrique	Métallurgie
ACO 1 Aciérie Oxygène 1	Brames	Lac	Industrie de transformation
ACO 2 Aciérie Oxygène 2	Billettes	LFR	Industrie de transformation
Laminoir à chaud (LAC)	Tôles fortes	LAF	Construction métallique chantiers navales tube bouteille à gaz
Laminoir à froid (LAF)	Tôles fines	Galvanisation	Electroménager mobilier métallique industrie de transformation

Galvanisation	Tôles galvanisées	C'est un produit vendu directement	Bâtiments pour l'agriculture industrie et élevage
Aciérie électrique (ACE)	Lingots	TSS (tube sans soudures)	Recherche et production pétrolière transport des hydrocarbures
Laminoir à fil rond (LFR)	Fil rond à béton	C'est un produit vendu directement	Bâtiment et travaux publics Hydraulique

## II.5. Le haut fourneau

Un haut fourneau est une installation industrielle destinée à simultanément désoxyder et fondre les minerais, par la combustion d'un combustible solide riche en carbone. En général, le haut fourneau transforme du minerai de fer en fonte liquide, en brûlant du coke qui sert à la fois de combustible et d'agent réducteur. Bien que la fonte produite soit un matériau à part entière, cet alliage est généralement destiné à être affiné dans des aciéries. Le haut fourneau est un échangeur à contre-courant, les échanges portent essentiellement sur la chaleur et l'oxygène.

- Le haut fourneau est un grand four garni de produits réfractaires, armé et refroidi. Il est soufflé à sa partie inférieure par du vent chaud afin de transformer en fonte, laitier et gaz, les matières ferreuses et le coke chargées à la partie supérieure en couches alternées.
- Le haut fourneau présente la forme de deux troncs de cône de hauteur différente assemblés à leur grande base par une partie cylindrique.
- Le tronc de cône supérieur est le plus haut : il forme la Cuve.
- La cuve est coiffée d'un dispositif de chargement des matières et d'évacuation des gaz : on l'appelle le Gueulard.
- La virole cylindrique située entre les deux troncs représente la Ventre.
- Le tronc de cône inférieur, le plus court et renversé et appelé étalages.
- La zone inférieure de étalages est prolongée vers le bas par une partie cylindrique de plusieurs mètres de hauteur : c'est le creuset, où se ressemblent la fonte et le laitier liquides séparés par différence de densité.
- La partie supérieure du creuset, à la limite des étalages, est appelée ouvrage. C'est là

que débouchent les tuyères à vent et que se termine la fusion sous l'influence de la haute température dégagée dans cette zone.

– Le haut fourneau est alimenté :

- Au gueulard, par du coke et matières ferreuses voire des fondants, etc.....
- Aux tuyères pénétrant dans l'ouvrage, par le vent chaud, éventuellement par du fuel, de l'oxygène, du gaz, de la vapeur (certaines unités disposent des tuyères auxiliaires situées à environ 1,5 m au-dessus des tuyères normales).

– L'évacuation de la fonte et le laitier se fait par le débouchage d'un Trou de coulée, situé au niveau de la sole, à la partie inférieure du creuset.

Dans la figure (II.4) représente le principe de fonctionnement du haut fourneau.

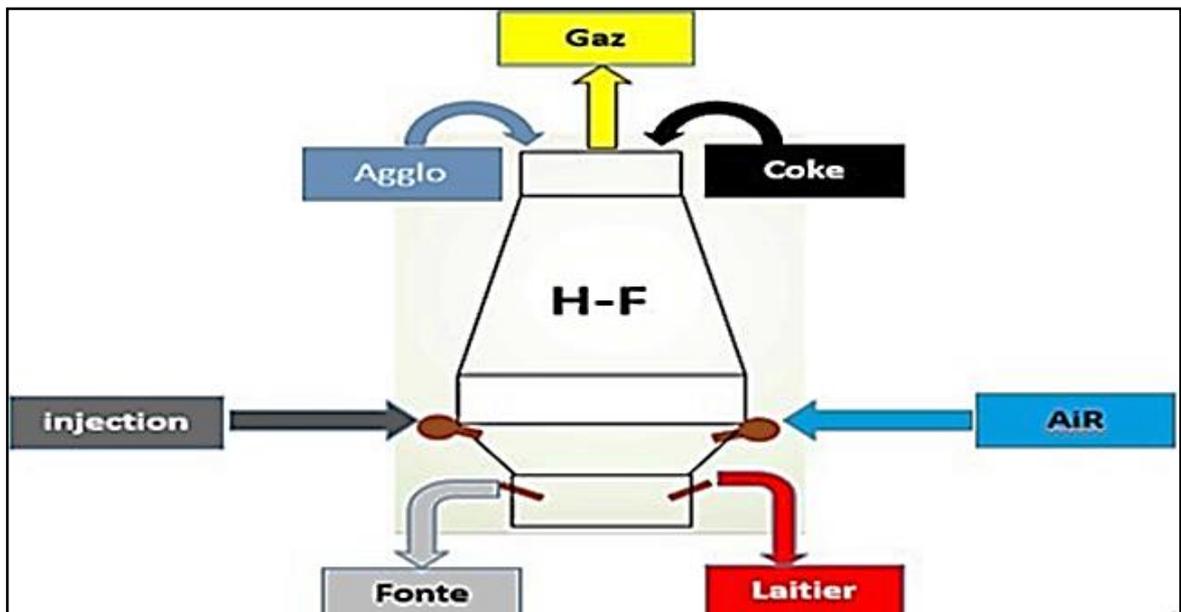


Figure II.5 : Schéma d'un haut fourneau [8].

## II.6. L'aciérie à oxygène

La fonte du haut fourneau est d'abord coulée dans un malaxeur. Le rôle du mélangeur est d'homogénéiser le mélange de fonte provenant de diverses sources. La transformation de la fonte en acier, ou « sidérurgie », a lieu dans un convertisseur[19].

Le convertisseur fonctionne sans apport de chaleur externe, de la chaleur est produite et la réaction est exothermique. Sa charge est constituée de fonte liquide additionnée de ferraille (jusqu'à 25%) pour contrôler l'échauffement. Les premières aciéries vraiment performantes sont du type BESSEMER THOMAS. Un courant d'air a été soufflé dans le bain de fonte en fusion à travers un ensemble de buses fixées au fond réfractaire de la cornue.

Le processus de conversion de la fonte en acier est très rapide, prenant environ trois-quarts d'heure, y compris le chargement et la coulée. Le produit obtenu n'est rien d'autre qu'un acier de base qui doit encore être affiné. C'est le rôle de la métallurgie en poche. Pour cela, de l'acier est coulé dans des poches, auxquelles des alliages (manganèse, cadmium, etc.) sont ajoutés en quantités très précises et selon la qualité souhaitée. De plus, au cours de la poursuite de la métallurgie en poche, les derniers éléments chimiques formés lors de la fusion, tels que le carbone, le phosphore et le soufre, sont également expulsés. Les gaz dissous dans l'acier fondu, tels que l'oxygène, l'hydrogène et l'azote du convertisseur, sont consommés dans le processus.

L'acier obtenu après le processus métallurgique était coulé en lingots. Pour devenir un véritable produit semi-fini, ces lingots devaient être envoyés dans un laminoir brut, d'abord réchauffés dans un four à fosse, puis façonnés en un produit semi-fini pouvant être utilisé dans différents types de laminoirs. Cette opération intermédiaire a été avantageusement remplacée par une coulée continue. Une fois les dernières opérations de finition terminées, la poche à acier est placée sur un pivot à deux bras pour accueillir deux poches, permettant la coulée continue du métal. L'acier s'écoule à travers un canal dans un distributeur, qui le distribue à deux lignes de coulée. Lorsque le métal sort du distributeur, il entre dans le moule et est refroidi à l'eau pour lui donner sa forme définitive. Il existe deux types de coulée continue : la coulée continue de brames et la coulée continue de billettes. De cette façon. Celles-ci sont coupées à la longueur souhaitée par découpage du cadre en fin de ligne. Les produits longs (tôles) sont fabriqués à partir de brames et les produits longs tels que les profilés, les cornières, les fers à béton et même les fils sont fabriqués à partir de billettes [5].

### **II.7. Aciérie électrique**

Le complexe est doté d'une aciérie électrique (ACE), l'acier est produit à partir de ferrailles de récupération fondues grâce à l'énergie électrique. Conçu initialement pour alimenter la tuberie sans soudure en lingots, mise en service en décembre 1974, composé d'un four classique, une coulée en source à trois voies de coulée et un atelier de conditionnement des lingots. En 1995, l'ACE est modernisé pour produire des billettes et des blooms. Installation d'un four à panneaux refroidis à l'eau, d'un four poche et d'une coulée continue horizontale à 2 lignes à blooms[19].

### **II.8. Unité d'agglomération**

L'atelier d'agglomération du minerai constitué de quatre chaînes d'agglomération, utilisant le procédé Dwight-Lloyd. Les déchets issus de la production d'acier peuvent être

ainsi recyclés dans les hauts fourneaux.

### **Conclusion**

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar est principalement composé de 08 divisions. Parmi ces divisions on trouve la division PMA, elle approvisionne essentiellement les matières premières du complexes avec des paramètres optimaux nécessaires afin de garantir la bonne qualité du produit fini.

.

.

*Chapitre III*  
*Matériels et méthodes*

## **Introduction**

Dans ce chapitre on va présenter les différents appareils et méthodes utilisés pour caractériser et analyser les différents échantillons (minerai de fer, sable, castine, fine de coke, agglomérat)) dans le but de savoir leurs composition chimiques, minéralogiques et d'autre propriété physiques afin d'améliorer la qualité du produit fini.

Les méthodes utilisées peuvent varier en fonction des objectifs de l'analyse et des propriétés du minerai. Les matériels couramment utilisés comprennent des équipements de préparation d'échantillons, des spectromètres, des balances, des fours, et des réactifs chimiques. Les méthodes d'analyse courantes incluent la spectrométrie de fluorescence X (FRX), la diffraction des rayons X (DRX), FTIR, la titration volumétrique. Ces techniques permettent de mesurer la teneur en fer, en silice, en alumine, en phosphore et en autres éléments présents dans le minerai.

### **III.1. Préparation des échantillons**

Au début de l'étude, des échantillons sont soigneusement prélevés au niveau du service PMA (Préparation des Matériaux Agglomérat) de l'usine sidérurgique d'El-Hadjar. Le minerai est stocké à partir de stocks déjà homogénéisés, d'agglomérats provenant du secteur agglomérer, de combustible (coke) du provenant du secteur coke et de sable, castine qui sont stocker au secteur minerai. Des échantillons de différentes dimensions subissent un prétraitement mécanique : broyage, tamisage et broyage pour obtenir des échantillons représentatifs pour l'analyse minéralogique et chimique[19].

Pour la préparation mécanique du minerai on prend un échantillon provenant du tas qui est de dimension 0-10 mm ; après avoir passé par un concassage, un tamisage (pour l'analyse granulométrique), un broyage pour atteindre un échantillon représentatif pour les analyses chimiques.

Pour la préparation mécanique de l'agglomérer on prend un échantillon provenant de secteur agglomérer qui est de maille 5-60mm ; on fait passer l'agglomérat par un diviseur a riffle qui sert à diviser la matière en deux. La moitié de la matière passe par un tambour par de suite elle passe par une série de crible (analyse granulométrique) et déterminer la résistance mécanique et l'autre moitié va subir une préparation mécanique concassage, broyage pour l'analyse chimique.

### III.2. Résistance mécanique de l'agglomérat

L'échantillon préparé doit avoir une quantité suffisante pour passer à travers un tamis de 40 mm et produire au moins 60 kg d'agglomérat retenu par un tamis de 10 mm. L'échantillon doit être séparé en quatre fractions par tamisage à travers des tamis de 25, 16 et 10 mm. Le matériau des trois tamis reconstitue l'échantillon pour le test de masse ( $15 \pm 0,15$  kg) en prélevant une masse proportionnelle de matériau de chacune des trois fractions. Un échantillon de 15 kg et de fraction 10/40 mm sont placés dans un tambour et centrifugés 200 fois à 25 tr/m.

Après le test, l'échantillon passe dans une série de quatre cribles, dont un crible de 6,30 mm et un crible et un crible de 0,5 mm. Le tamisage peut être effectué mécaniquement ou manuellement Mais seulement si des tests préliminaires donnent des résultats similaires.

#### III.2.1. Calcul de la l'indice de cohésion et d'abrasion

– La résistance mécanique à la cohésion, T, est définie comme le rapport de la fraction granulométrique supérieure à 6,3 mm sur toute la masse de l'échantillon.

$$T = \frac{m1}{m1 + m2 + m3} \times 100$$

– La résistance mécanique à l'abrasion, A, est définie comme le rapport de la fraction granulométrique inférieure à 0,5 mm sur toute la masse de l'échantillon.

$$A = \frac{m3}{m1 + m2 + m3} \times 100$$

Où :

- m1 est la masse, en grammes, de la fraction d'échantillon retenue sur le tamis 6,30 mm;
  - m2 est la masse, en grammes, de la fraction d'échantillon passant le tamis 6,30 mm et retenue sur le tamis 0,5 mm ;
  - m3 est la masse, en grammes, de la fraction d'échantillon passant le tamis 0,5 mm
- Chaque indice est indiqué au 0,1 % le plus proche en arrondissant à la première décimale.

### III.3. Calcul du taux d'humidité

Pour calculer le taux d'humidité, nous procédons à une prise de poids des plateaux de séchage à vide ainsi qu'avec l'échantillon. Cette méthode consiste essentiellement en un triple processus de « pesage-séchage-pesage » : les échantillons sont pesés avant et après séchage par échauffement pour une température de 150 C° et un temps de 2h la perte de masse permettant de calculer l'humidité de l'échantillon. Les figures (III.1 et III.2) montrent respectivement le poids de l'échantillon et son séchage.



**Figure III.1:** Pesage de l'échantillon



**Figure III.2 :** Matière dans l'étuve.

✓ Le taux d'humidité est donné par la formule suivante

$$\frac{(P - Ip)}{(P - T)} \times 100 = H \%$$

**T:**(poids de plat vidé)

**P :**(poids de plat avec matières)

**I p :**(poids après séchage)

### III.4. Détermination des pertes au feu (PF)

La perte au feu décrit le processus de mesure de la variation de poids d'un échantillon après qu'il a été chauffé à haute température (1000 °C), ce qui a provoqué la combustion ou la volatilisation d'une partie de son contenu qui peuvent être des matières organiques, gaz

carboniques des carbonates, eau de combinaison, carbone, soufre, etc.

Le changement de poids de l'échantillon est surveillé pendant le processus de chauffage et cela est nécessaire pour déterminer les PF.

#### III.4.1. Matériels utilisés

- Creusets en porcelaine
- Balance analytique
- Four pouvant atteindre une température adéquate

#### III.4.2. Mode opératoire

- Peser 1 g d'échantillon dans un creuset en porcelaine comme indiqué sur la figure ci-dessous.



Figure III.3: Balance analytique

- Etaler la prise d'essai en une couche mince et homogène sur tout le fond de la Creusets nacelle.
- Placer la Creusets nacelle dans un four à 1000 °C (1 heure pour 1 g de minerai. Ceci est illustré dans la Figure (III.4)



Figure III.4: Creusé nacelle en porcelaine

– Refroidir et peser l'échantillon

➤ **Calcul de PF**

Les pertes au feu sont données par :

$$PF = \frac{(P - P') \cdot 100}{\text{Prise d'essai}}$$

P : Le poids du creusé nacelle contenant l'échantillon

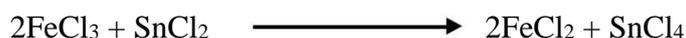
P' : Echantillon Refroidie et pesé

### III.5. Analyse chimique par méthode volumétrique

La teneur en fer est déterminée par analyse volumétrique.

**Principe :**

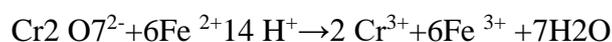
Réduction de  $Fe^{3+}$  par  $SnCl_2$  :



Élimination 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 diphénylamine sulfonates de baryum comme indicateur :



### Titration volumétrique du fer total

La méthode est applicable à tout échantillon minéral ayant une teneur en fer supérieure à 5 % et une teneur en cuivre inférieure à 0,1 %. La dissolution du métal (fer) est obtenue par réaction avec de l'acide chlorhydrique (12%).

#### III.5.1. Réactifs utilisée

- Solution d'acide chlorhydrique [HCl].
- Solution de chlorure Stanneux ( $\text{SnCl}_2$ ).
- Solution de chlorure mercurique ( $\text{HgCl}_2$ ).
- Solution de dichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

#### III.5.2. Mode opératoire

##### A. Analyse du Fer

- Ajouter 0,1 g de minerai de fer dans l'erlenmeyer.
- Dissoudre dans de l'acide chlorhydrique HCl (25 ml) comme présenter dans la figure (III.5)



**Figure III.5:** Préparation de la solution.

Après agitation, le minerai est porté à ébullition sur une plaque chauffante à l'intérieur d'une hôte d'aspiration pendant 1 heure, cela présenté dans la figure (III.6)



**Figure III.6:** Ebullition de la solution.

Une fois l'attaque terminée, ouvrir le couvercle de l'erlenmeyer, diluer légèrement avec un jet de pissette et porter à ébullition.

Remuer de temps en temps pour garder la solution homogène jusqu'à l'obtention d'une couleur jaune. La figure (III.7) montre le changement de couleur de la solution.

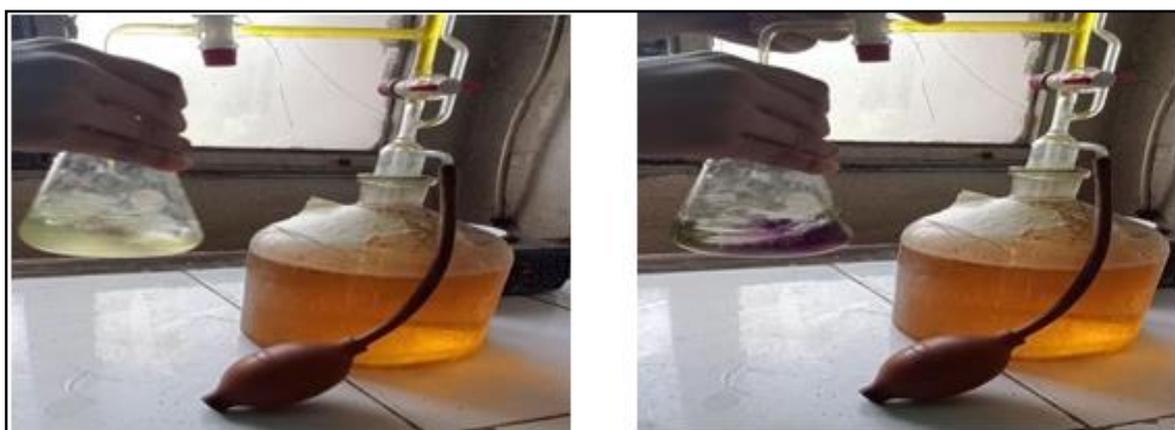


**Figure III.7:** Solution obtenu.

Diluer à environ 150 mL avec de l'eau distillée et réduire le fer ( $\text{FeCl}_3$ ) avec  $\text{SnCl}_2$  sous agitation jusqu'à décoloration.

Refroidir et réduire l'excès de  $\text{SnCl}_2$  (10 mL) en ajoutant une solution de  $\text{HgCl}_2$ . Le mélange est encore dilué à 100 mL avec de l'eau distillée puis 20 mL de DIPH sont ajoutés.

Titrer avec  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  jusqu'à ce que la couleur vire au violet. C'est ce qu'illustre la Figure (III.8).



**Figure III.8:** Dispositif de titrage du fer total par le dichromate de potassium

### Calcul

Le pourcentage de fer total dans l'échantillon est donné par la formule :

$$\mathbf{Fe} = \frac{\mathbf{T.V.100}}{\mathbf{m}}$$

% Fe : pourcentage fer

m : masse du minerai (0,1g)

V : Volume de  $K_2Cr_2O_7$  utilisé pour le dosage (mL)

T : Titre de  $K_2Cr_2O_7$  en g de fer /mL (g/mL).

### B. Analyse de CaO

- Utiliser (0,2) g de minerai de fer + 25 ml de HCl.
- On mélange 100 ml filtra + l'indicateur + l'Ammoniac + HCl 1/2 + l'acétate d'éthyle + Une cuiller oxalate d'ammonium ce qu'est indiquée dans la figure(III.9)



**Figure III.9:** Préparation de la solution

Faire bouillir pendant 10 minutes et laisser le sédiment se déposer au fond du bécher. Filtrer à travers deux papiers filtre, laver le bécher plusieurs fois avec de l'eau chaude et filtrer.

Laisser le lavage précédent s'écouler complètement entre chaque lavage pour s'assurer que les ions oxalates en excès sont complètement éliminés comme indiqué sur la figure ci-dessous.



**Figure III.10:** Filtration de la solution

Placer le filtre et son contenu dans le bécher utilisé pour la précipitation. 100 ml d'eau et 20 ml de  $H_2SO_4$  ont été ajoutés. Agiter et titrer avec la solution de permanganate jusqu'à ce que la couleur soit rose.

### Calcul CaO

#### Pourcentage de chaux dans un échantillon

$$(CaO\%) = \frac{t \cdot A \cdot 100}{m}$$

Soit

m : masse du minerai en g

A : le volume en ml utilisé pour le dosage

$$t : \text{titre en chaux est } t = \frac{0,0837}{V} \text{ g de CaO/ml de KMnO}_4$$

### Analyse $SiO_2$

- Placer  $m=1$  g d'échantillon de minerai de fer dans un bécher, humidifier le produit avec un peu d'eau distillée + 25 ml d'HCl et porter à ébullition.
- Une fois l'échantillon complètement dissous, ajouté 2 à 3 mL d'acide nitrique et d'acide perchlorique à 40 %.
- Couvrir le verre de montre et chauffer jusqu'à ce qu'une fumée blanche apparaisse.
- Retirer et laisser refroidir.
- Ajouter 100 ml d'eau chaude, remuer et filtrer (filtre rouge).
- Laver le filtre avec de l'acide chlorhydrique dilué chaud.
- Placer le filtre et son contenu dans un creuset en platine.

- Peser le poids P.
- Sécher puis cuire à 1000° pendant 20 minutes.
- Laisser refroidir le creuset avant de peser p'.

#### Calcul de SiO<sub>2</sub>

$$SiO_2\% = \frac{P - P'}{m}$$

### III.6. Les analyses spectroscopiques

#### III.6.1. Diffraction des Rayons X

##### III.6.1.1. Définition

La Diffraction des Rayons X est une technique de caractérisation des matériaux cristallisés, qu'ils soient massifs, sous forme de [20]:

- Poudre
- Solide

En laboratoire, cette technique est principalement appliquée aux matériaux inorganiques tels que les minéraux, les métaux, les alliages et les céramiques.

DRX est basé sur l'enregistrement d'un diffractogramme et l'analyse des pics de ce motif, ce qui permet de caractériser les cristallites composées des éléments suivants présents dans l'échantillon :

- Positions des pics : analyse qualitative, identification des phases cristallines présentes.
- Largeur de pic : taille et forme des cristallites, contrainte interne.
- Intensité des pics : estimation de la composition chimique, analyse quantitative, orientation préférée.

##### III.6.1.2. Principe de DRX

La diffraction de poudre est principalement utilisée pour l'identification de phase. Il s'agit d'une méthode non destructive d'analyse qualitative et quantitative d'échantillons polycristallins[21].

Dans la diffraction des rayons X, le rayonnement d'une longueur d'onde ( $0,1 < 10$  nm) Est dirigé vers un échantillon orienté ou non orienté. Utilisez un rayonnement électromagnétique de cuivre avec une longueur d'onde de  $Cu K\alpha = 1,542 \text{ \AA}$ . Ce

rayonnement pénètre dans le cristal, absorbe une partie de l'énergie et excite les atomes pour émettre un rayonnement dans toutes les directions. Le rayonnement émis par des plans atomiques en phase produira des faisceaux cohérents qui pourront être détecté.

L'appareil utiliser pour cette méthode est définie dans la figure (III.11)

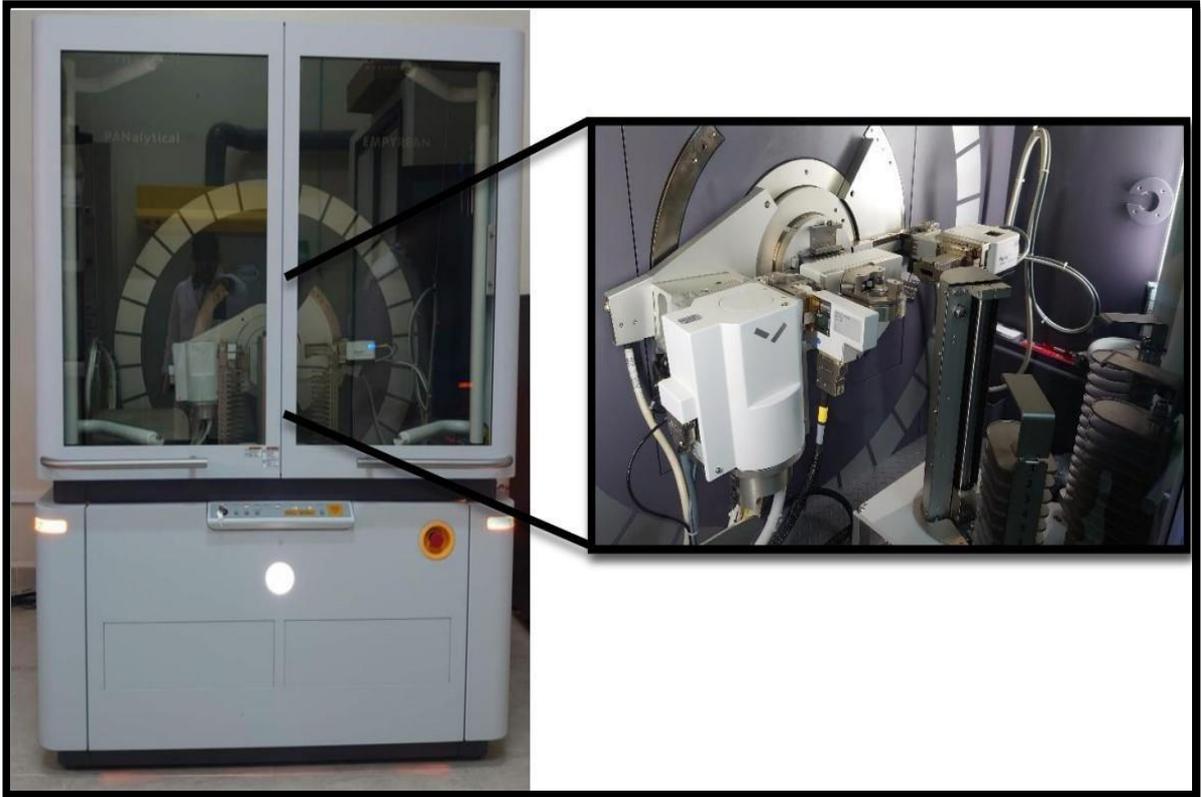


Figure III.11: Appareil de DRX.

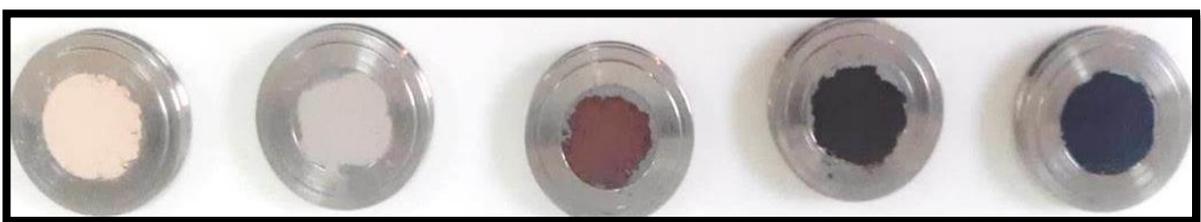


Figure III.12 : Préparation des échantillons destinés à l'analyse de la DRX.

## III.6.2. La spectroscopie infrarouge

### III.6.2.1. Définition de l'Infrarouge

La spectroscopie infrarouge (IR) étudie les vibrations des molécules lorsqu'elles sont irradiées par une onde électromagnétique comprise dans le domaine de l'infrarouge : environ 0,8 et 1000  $\mu\text{m}$ . Cette zone spectrale est divisée en [22]:

- Le proche infrarouge entre 12500 et 4000  $\text{cm}^{-1}$
- Le moyen infrarouge entre 4000 et 400  $\text{cm}^{-1}$
- Le lointain infrarouge entre 400 et 10  $\text{cm}^{-1}$

La gamme de nombres d'onde généralement utilisée est 4000  $\text{cm}^{-1}$  à 400  $\text{cm}^{-1}$  (soit des longueurs d'onde de 2,5  $\mu\text{m}$  à 25  $\mu\text{m}$ ) [22].



**Figure III.13:** Le spectroscope infrarouge.

Les mouvements des atomes moléculaires peuvent être divisés en trois catégories :

- Les translations
- Les rotations
- Les vibrations

La spectroscopie infrarouge est l'un des outils spectroscopiques les plus largement utilisés pour la caractérisation moléculaire.

### III.6.2.2. Principe de la FTIR

Les principes fondamentaux de la spectroscopie infrarouge sont très similaires à ceux régissant le spectre UV-Vis. La différence réside dans les niveaux d'énergie requis pour la technique : ce sont des énergies vibratoires moléculaires.

Lors du changement de niveau vibrationnel, une onde électromagnétique ne peut être absorbée (ou émise) que si on a simultanément une variation du moment dipolaire.

### III.6.3. Analyse chimique par fluorescence des rayons X

#### III.6.3.1. Définition de FRX

La spectroscopie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire non destructive utilisée pour identifier et mesurer un ou plusieurs éléments chimiques. Grâce à cette méthode, il est possible de mesurer une grande variété d'échantillons tels que des alliages, des roches et même des objets culturels (peintures, poteries, fresques, sculptures, etc.). Les éléments allant du béryllium (Be) à l'uranium (U) peuvent être analysés dans des plages de concentration allant de 100 % en poids à des niveaux inférieurs au ppm[23].

La méthode XRF (fluorescence des rayons X), qui utilise les rayons X incidents comme source d'excitation, ne peut pas mesurer certains éléments luminescents en raison des faibles valeurs de section efficace d'ionisation.

#### III.6.3.2. Principe de FRX

Lorsqu'un matériau est exposé à des rayonnements de courte longueur d'onde et de haute énergie, tels que des rayons X, des rayons gamma ou des faisceaux d'électrons, ou des ions suffisamment accélérés, les atomes qui composent le matériau sont ionisés, ce qui signifie qu'un ou plus d'électrons sont libérés des couches d'électrons (on dit aussi orbitales atomiques) de chaque atome sont éjectées[23].

Le logiciel d'analyse peut analyser l'énergie du rayonnement fluorescent de manière équivalente à partir de la concentration et de la formule chimique des éléments, ce que nous appelons analyse de dispersion d'énergie ou de longueur d'onde. Le spectre d'un matériau analysé est l'intensité du rayonnement en fonction de l'énergie, généralement exprimée en électron volts (eV) ou en longueur d'onde. C'est un outil puissant pour l'analyse chimique de base et c'est une branche de la chimie analytique.

Le principe est schématisé dans la figure (III.14).

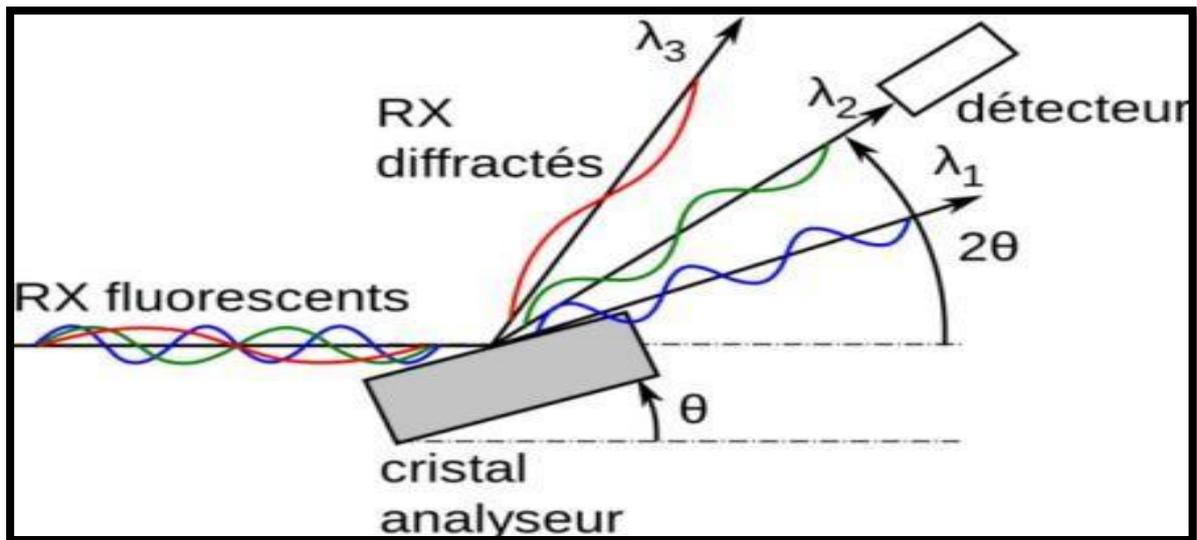


Figure III.14 : Le principe de de FX [23]

## Conclusion

La préparation mécanique et physique de l'échantillon est importante pour assurer la représentativité de l'échantillon et la validité des résultats des analyses spectrométriques et chimique donc une préparation adéquate de l'échantillon en obtient une réduction de la taille et l'homogénéisation de l'échantillon.

Ces analyses nous permettent de déterminer la composition chimique et les propriétés physiques de ces matériaux. Ces informations sont très importantes pour optimiser les processus de production, et pour garantir la qualité du produit final. De plus, ces analyses aident à identifier les impuretés et les contaminants qui peuvent nuire à la qualité des matériaux et à la qualité du produit final.

Le choix de l'équipement dépend de divers facteurs, dont la qualité et la quantité de minerai à traiter et les propriétés du gisement.

*Chapitre IV*

*Caractérisation et  
paramètres influençant  
sur la qualité de  
l'agglomérat*

**Introduction**

Les hauts fourneaux nécessitent des produits à faible teneur en fines, à indice de cohésion élevé, à haute réductibilité et à haute résistance mécanique à haute température. Ce dernier ne peut être atteint que par des méthodes appropriées, c'est-à-dire l'agglomération de minerai homogénéisé avec des additifs. La taille et la forme des particules, la composition chimique du minerai, la température, la pression, et d'autres facteurs tels que la teneur en humidité. Ils influencent le comportement de l'agglomérat, qui à son tour influence la qualité de l'agglomérat.

Dans ce chapitre, nous considérons divers paramètres qui influencent le processus d'agglomération.

**IV.1. Résultats de la caractérisation physico-chimiques**

**IV.1.1. Analyse chimique par FRX**

Le tableau (IV.1) représente les résultats d'analyse chimique des échantillons (fer, coke, castine, sable, agglomérer) par la méthode chimique FRX réalisée au Centre de Recherche (CRAPC).

**Tableau IV.1:** Les résultats d'analyse chimique par FRX

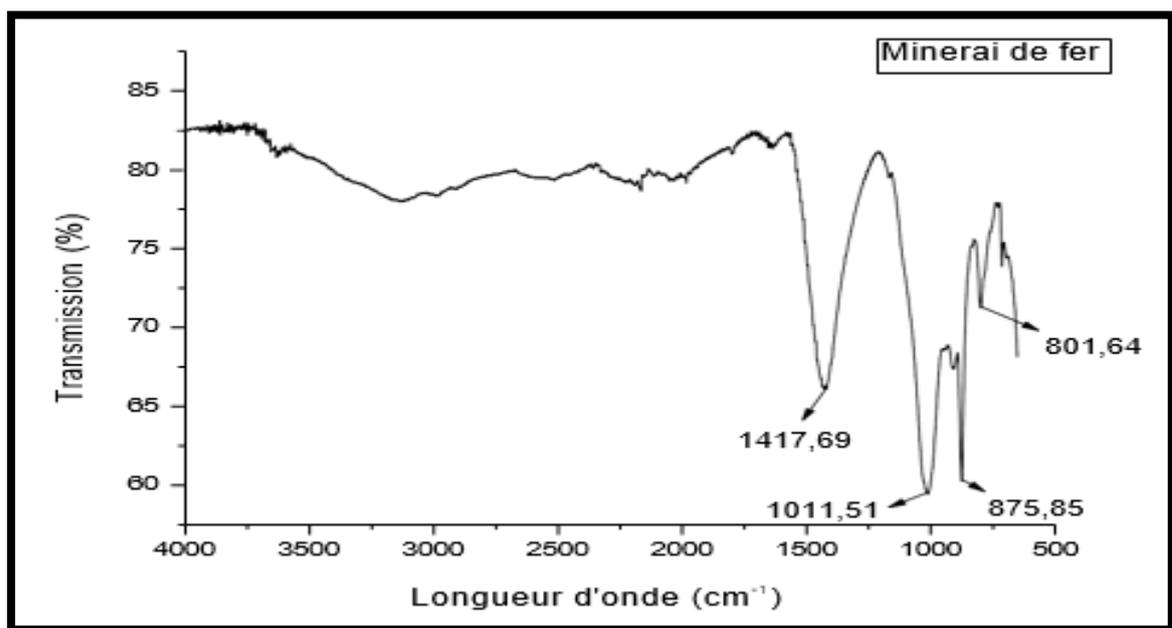
<b>Echantillon éléments chimique</b>	<b>fer</b>	<b>Coke %</b>	<b>Castine%</b>	<b>Sable%</b>	<b>Agglomérat %</b>
<b>EL( élément légère)</b>	24,09% +/- 0,000%	80,42% +/- 0,000	5,87% +/- 0,000%	44,22% +/- 0,000%	9,52% +/- 0,000%
<b>Si (silicium)</b>	6,33% +/- 0,057	5,35% +/- 0,033%	2,01% +/- 0,028%	42,56% +/- 0,083%	8,14% +/- 0,069%
<b>K (potassium)</b>	0,254% +/- 0,004%	0,362% +/- 0,003%	0,244% +/- 0,004%	1,34% +/- 0,006%	0,191% +/- 0,004%
<b>Ti (Titanium)</b>	0,147% +/- 0,012%	0,240% +/- 0,012%	-	0,244% +/- 0,018%	0,226% +/- 0,016%

<b>Mn (Manganèse)</b>	2,14% +/- 0,023%	0,131% +/- 0,004%	0,27% +/- 0,004%	0,029% +/- 0,003%	2,48% +/- 0,027%
<b>Cu (cuivre)</b>	0,011% +/- 0,002%	0,377% +/- 0,004%	0,020% +/- 0,001%	0,006% +/- 0,001%	0,010% +/- 0,002%
<b>Rb (Rubidium)</b>	0,001% +/- 0,000%	-	0,002% +/- 0,000%	0,005% +/- 0,000%	-
<b>Pb (plomb)</b>	0,055% +/- 0,003%	0,021% +/- 0,001%	0,002% +/- 0,000%	0,004% +/- 0,000%	0,093% +/- 0,004%
<b>Al (Aluminium)</b>	4,00% +/- 0,092	3,06% +/- 0,049%	3,49% +/- 0,074%	3,79% +/- 0,044%	3,07% +/- 0,086%
<b>S (soufre)</b>	0,033% +/- 0,006%	2,00% 0,009%	-	0,071% 0,004%	-
<b>Ca (calcium)</b>	8,74% +/- 0,020%	2,91% +/- 0,007%	54,41% +/- 0,051%	6,76% +/- 0,012%	12,23% +/- 0,025%
<b>V (vanadium)</b>	0,014% +/- 0,004%	0,020% +/- 0,003%	-	-	0,018% +/- 0,005%
<b>Fe (fer)</b>	54,03% +/- 0,097%	4,75% +/- 0,019%	0,791% +/- 0,014%	0,927% +/- 0,012%	63,83% +/- 0,115%
<b>Zn (Zinc)</b>	0,077% +/- 0,003%	0,168% +/- 0,002%	0,012% +/- 0,001%	0,009% +/-0,001%	0,097% +/- 0,004%
<b>Sr (strontium)</b>	0,076% +/- 0,001%	0,036% +/- 0,000%	0,013% +/- 0,000%	0,012% +/- 0,000%	0,079% +/- 0,002%
<b>Co (cobalt)</b>	-	0,016% +/- 0,004%	-	-	-
<b>P (phosphore)</b>	-	0,114% +/- 0,005%	-	-	-
<b>Cr (chrome)</b>	-	0,006% +/-	-	-	0,019% +/-

		0,002%			0,005%
<b>Y (yttrium)</b>	-	0,001% +/- 0,000%	-	-	-
<b>Ag (argent)</b>	-	0,003% +/- 0,001	-	-	-
<b>Zr zirconium)</b>	-	0,008% +/- 0,000%	0,002% +/- 0,000%	0,023% +/- 0,000%	0,003% +/- 0,001%
<b>As (Arsenic)</b>	-	-	0,001% +/- 0,000%	-	-

#### IV.1.2. Les résultats de caractérisation par FTIR

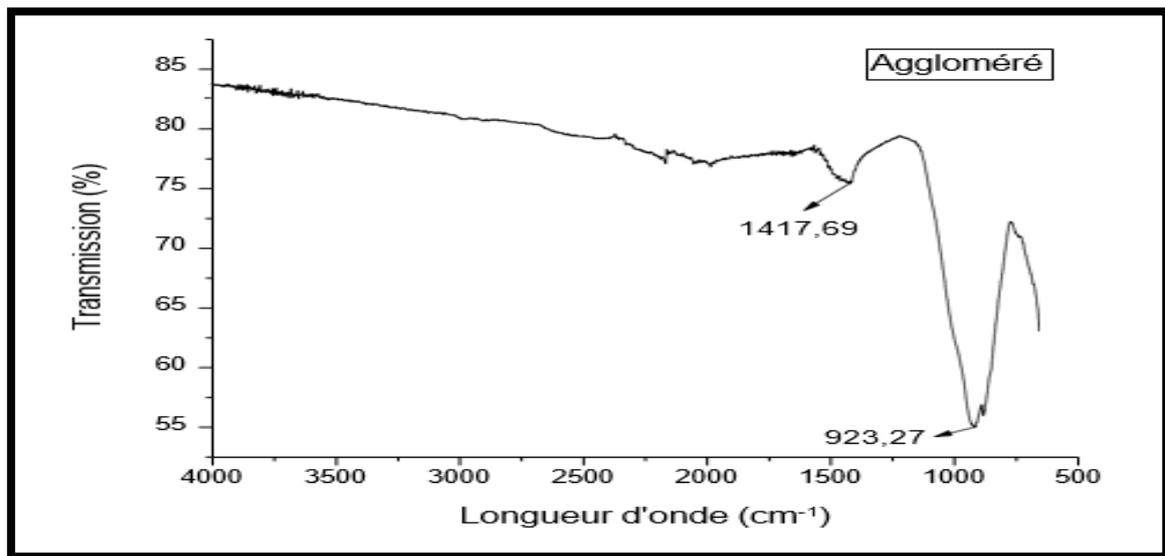
La figure (IV.1) montre les résultats de l'analyse spectroscopique infrarouge d'un échantillon de minerai de fer.



**Figure IV.1:** Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon du minerai de fer.

Le spectre infrarouge pour l'échantillon du minerai de fer montre une bande large située à  $1417,69 \text{ cm}^{-1}$  correspond à bandes de vibrations des liaisons C-O et une bande à  $1011,51 \text{ cm}^{-1}$  qui est caractéristique des vibrations des liaisons Si-O. Un pic plus intense et mieux résolu à  $875,85$  correspondants aux vibrations des liaisons Fe-O et un pic d'intensité faible à  $801,64 \text{ cm}^{-1}$  correspondants aux vibrations des liaisons C-O.

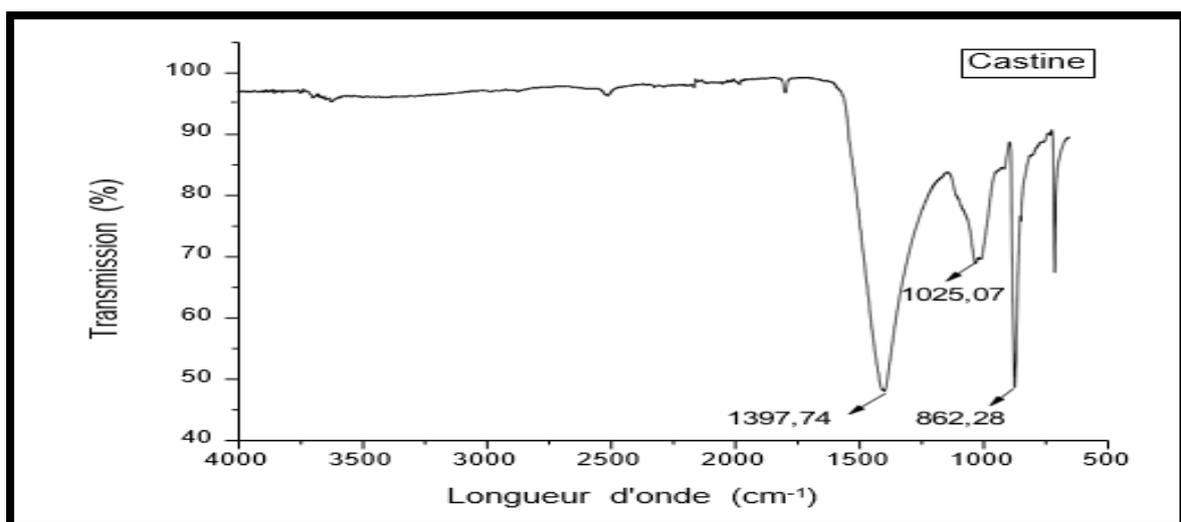
La figure (IV.2) montre les résultats de l'analyse spectroscopique infrarouge d'un échantillon d'aggloméré.



**Figure IV.2:** Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon agglomérat.

Le spectre infra rouge pour l'échantillon d'agglomérat montre une bande large située à  $1417,69 \text{ cm}^{-1}$  correspond à bandes de vibrations des liaisons C-O et une bande à  $923,27 \text{ cm}^{-1}$  qui est caractéristique des vibrations des liaisons Si-O.

La figure (IV.3) représente Les résultats de l'analyse pour l'échantillon castine par la spectrométrie infrarouge.

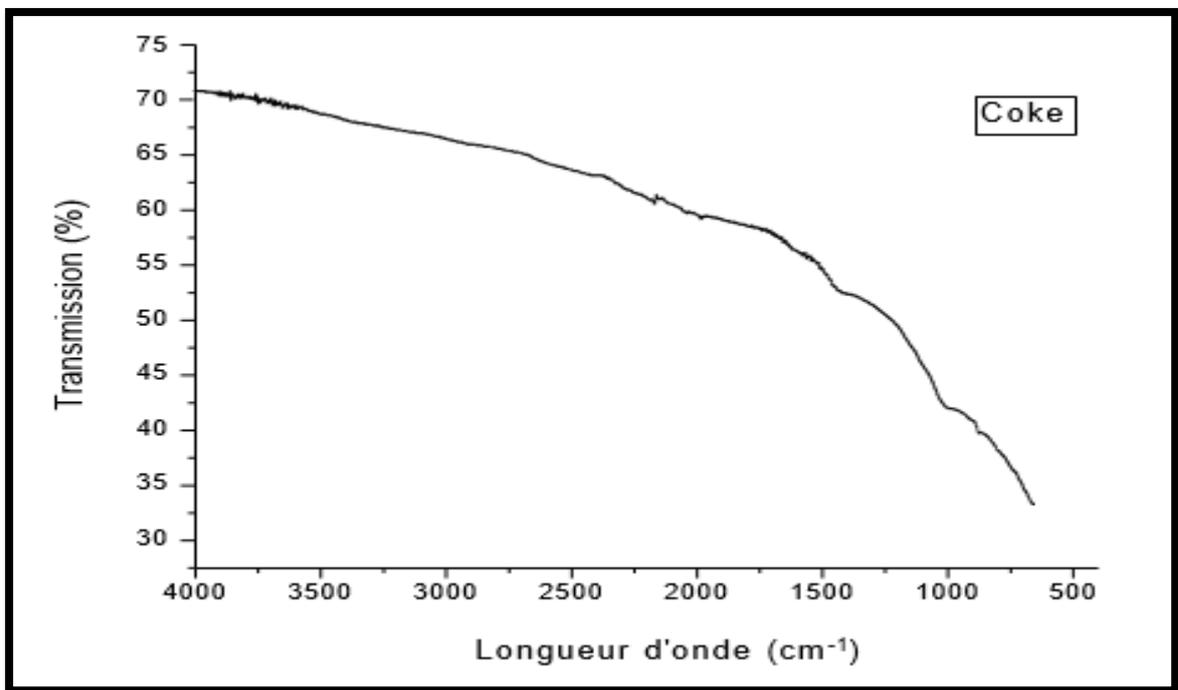


**Figure IV.3:** Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon de la castine.

## Chapitre IV *Caractérisation et paramètres influençant sur la qualité de l'agglomérat*

Les fréquences des bandes d'absorption caractéristiques correspondant aux vibrations des différents radicaux entrant dans la composition de la castine sont montrées sur le spectre suivant (figure 3). Le spectre IR de l'échantillon est caractérisé par une bande d'absorption intense à  $1397,74\text{ cm}^{-1}$  correspond à bandes de vibrations des liaisons C-O du groupement carbonate, une bande de faible intensité à  $1025,07\text{ cm}^{-1}$  qui est caractéristique des vibrations des liaisons Si-O et un pic intense à  $872,50$  est caractérisé l'élongation C-O du groupement carbonate.

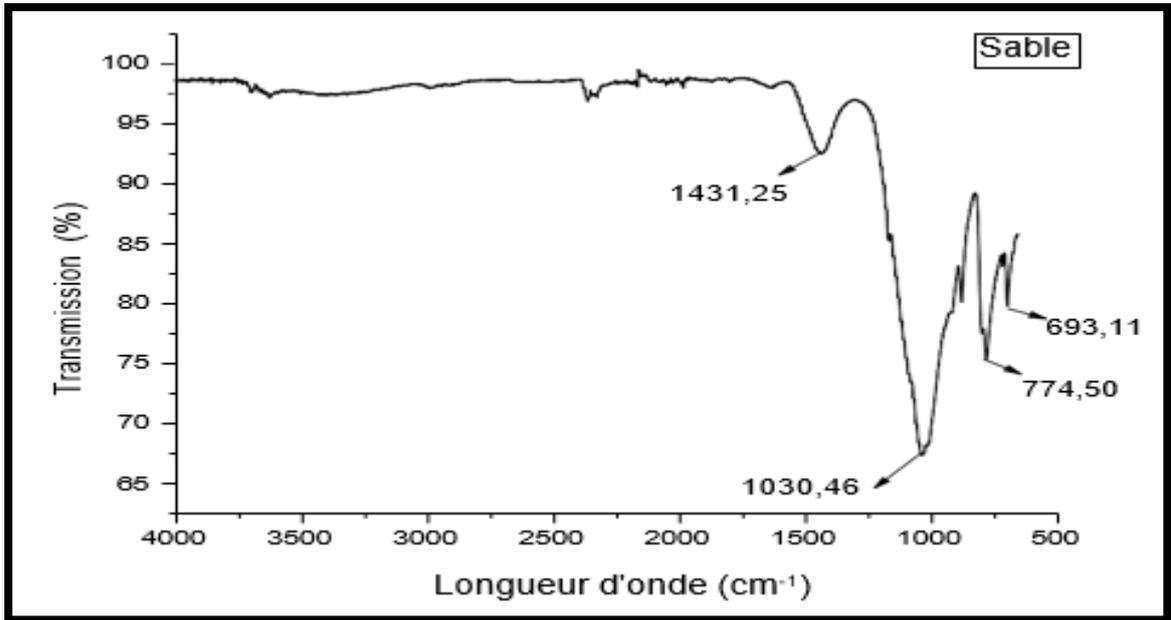
La figure (IV.4) représente Les résultats de l'analyse pour l'échantillon (coke) par la spectrométrie infrarouge.



**Figure IV.4:** Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon du coke.

Le spectre infrarouge pour l'échantillon du coke ne présente aucune vibration, cela caractérise l'état amorphe de l'échantillon. Cependant de très petites vibrations à  $1290$  et  $1007\text{ cm}^{-1}$  sont remarqués sur cet échantillon correspondant aux vibrations O-H et Si-O respectivement.

La figure (IV.5) représente Les résultats de l'analyse pour l'échantillon (Sable) par la spectrométrie infrarouge.

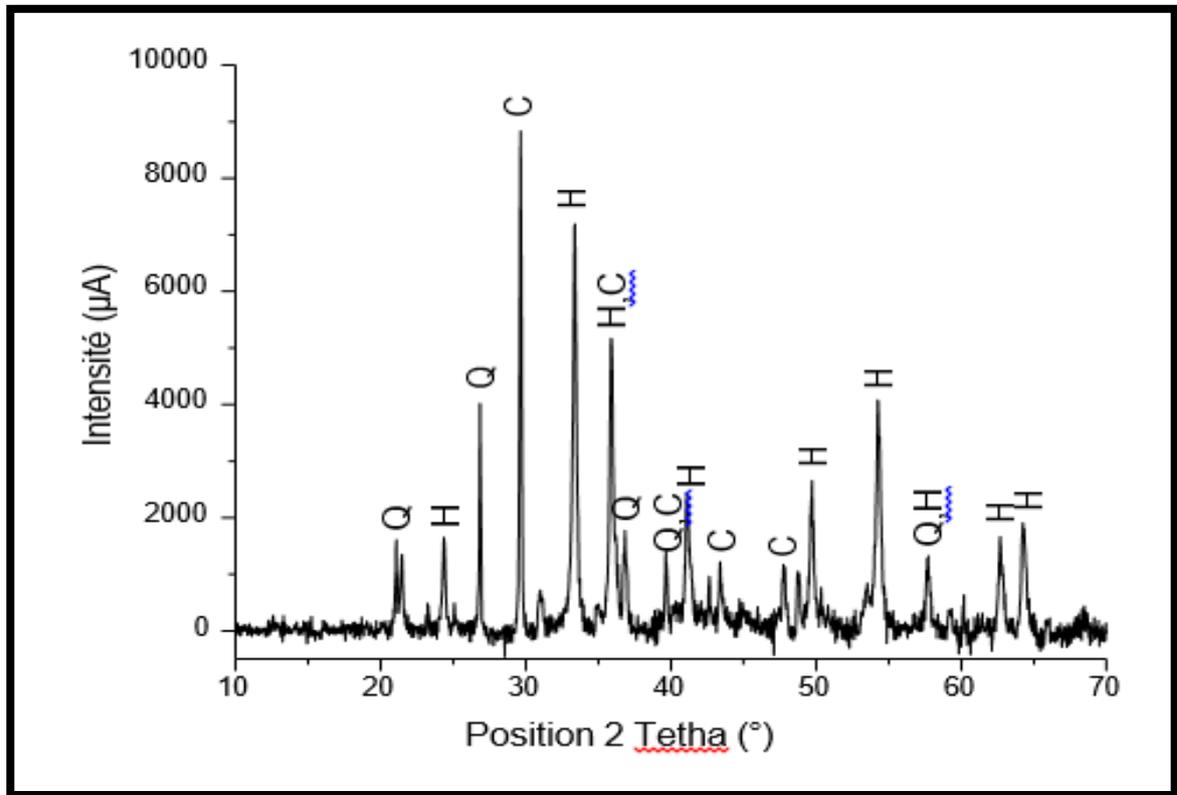


**Figure IV.5:** Spectre de l'analyse par infrarouge de l'échantillon du sable

Le spectre infrarouge pour l'échantillon du minéral de sable montre une bande large située à  $1431,25 \text{ cm}^{-1}$  correspond aux vibrations de déformation OH des molécules d'eau formées. Une bande intense à  $1030 \text{ cm}^{-1}$  est généralement attribuée aux vibrations d'élongation asymétriques de Si-O-Si. Deux pics à  $774,50$  et  $693,11 \text{ cm}^{-1}$  qui sont caractéristique les vibrations des liaisons Si-O-Al.

## IV.1.3. Les Résultats de la caractérisation minéralogiques par DRX

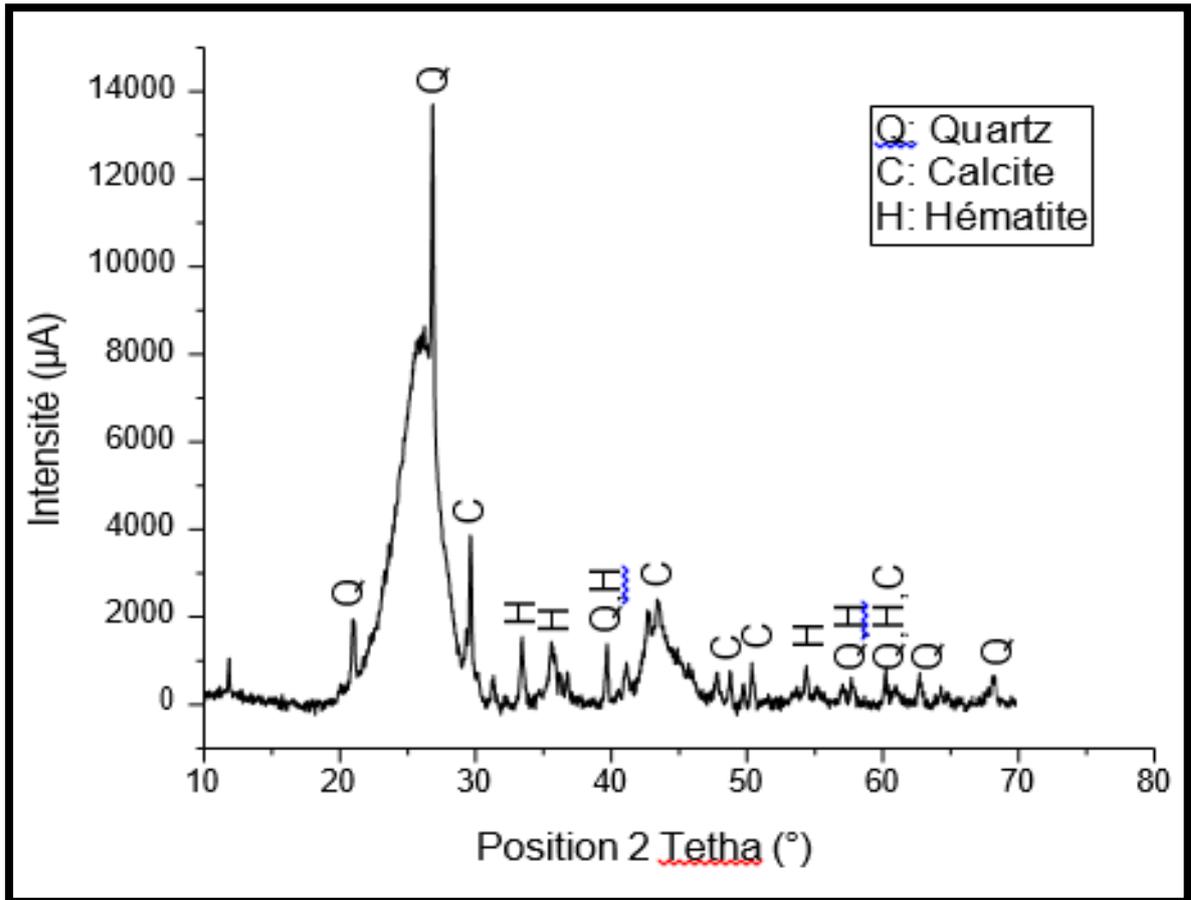
La figure IV.6 représente la caractérisation minéralogique du minerai de fer.



**Figure IV.6:** Spectre de diffraction des rayons X du minerai de fer ; (Q: Quartz, H: Hématite, C: Calcite).

Le diffractogramme des rayons X étudiés de l'échantillon initial (Figure 1) du minerai de fer indique que, l'échantillon est constitué principalement de l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), ainsi que le quartz ( $\text{SiO}_2$ ). L'intensité très élevée des pics d'hématite et du quartz indique une teneur élevée en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (33,48 et 54,15  $^\circ 2\theta$ ) et en  $\text{SiO}_2$  (20,88 et 26,75 $^\circ 2\theta$ ).

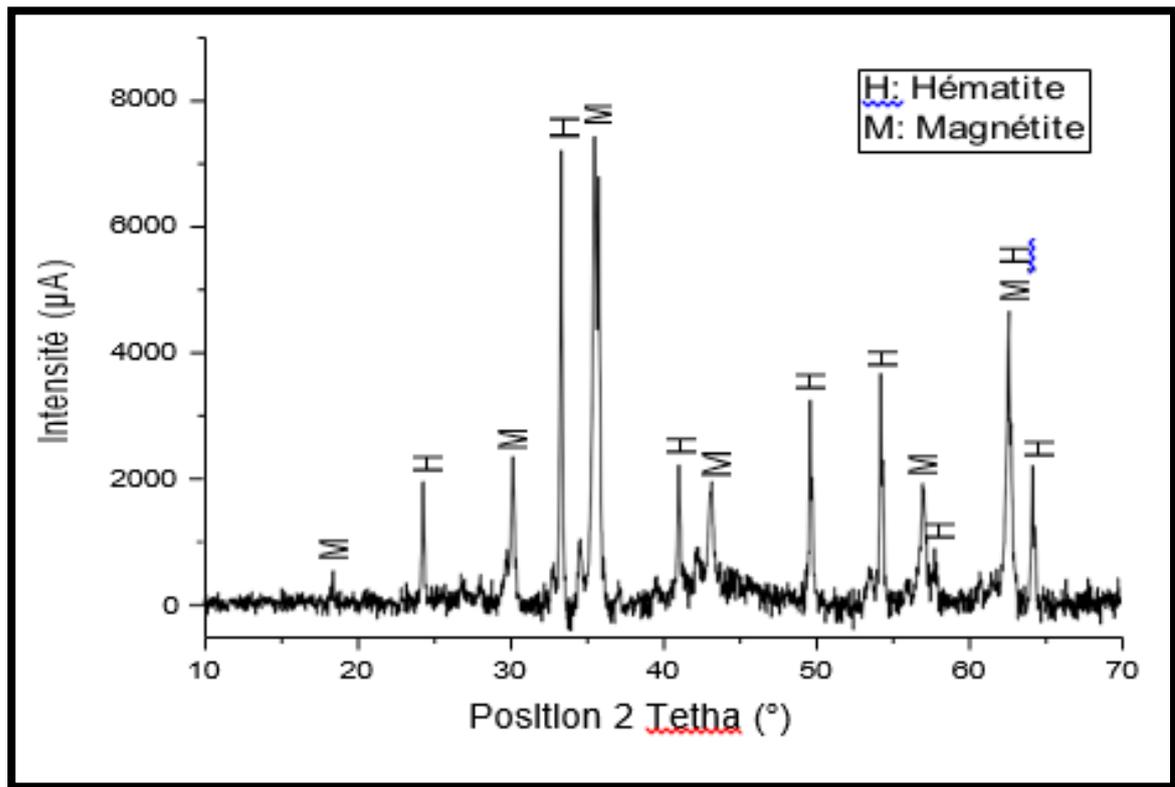
La figure IV.7 représente la caractérisation minéralogique du coke.



**Figure IV.7:** Spectre de diffraction des rayons X du coke

Les résultats de l'analyse minéralogique par DRX de l'échantillon du coke sont présentés sur la figure 2. On observe que les principaux constituants minéralogiques, sont principalement l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) et le quartz ( $\text{SiO}_2$ ). Les pics plus importants sont du quartz ( $21,01$  et  $26,98^\circ 2\theta$ ), de la calcite ( $29,55$  et  $43,55^\circ 2\theta$ ) et d'hématite ( $33,22$  et  $54,06^\circ 2\theta$ ) caractérisés par une forte intensité bien exprimée.

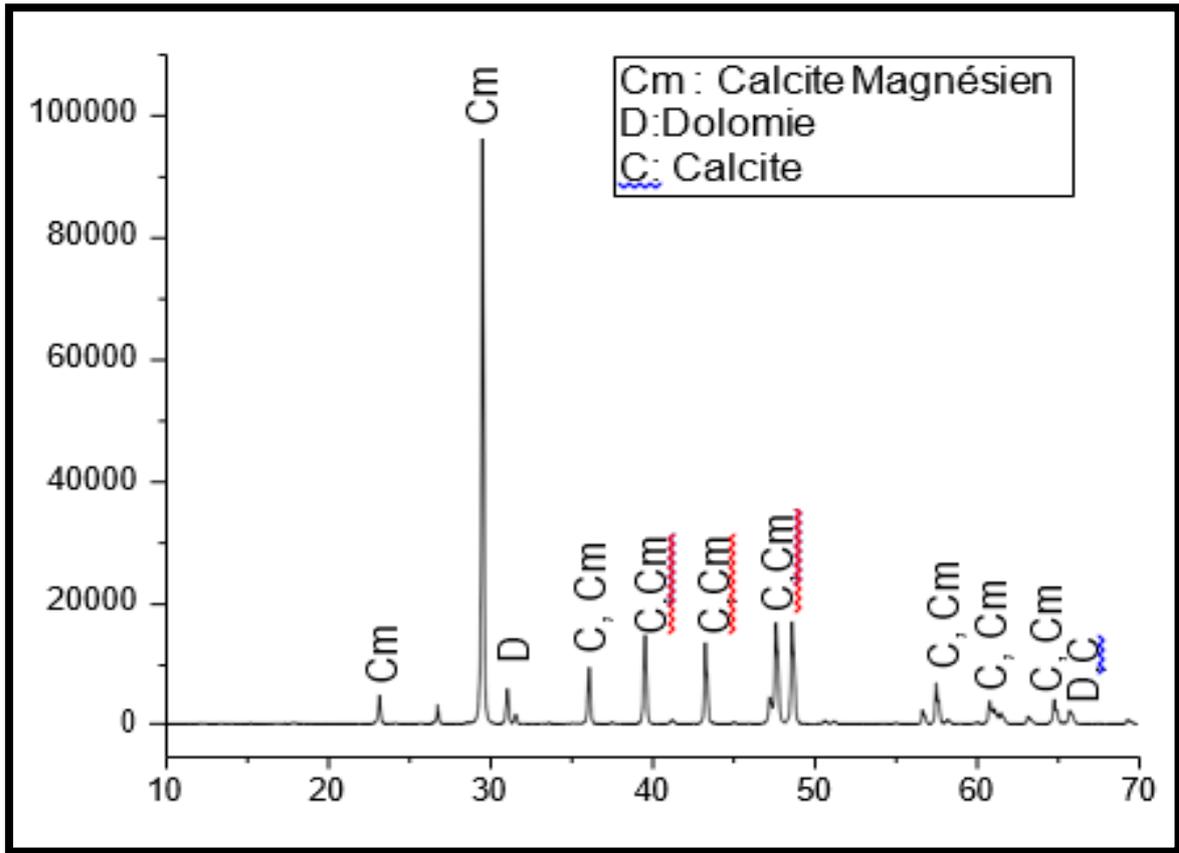
La figure IV.8 représente la caractérisation minéralogique de l'agglomérat.



**Figure IV.8:** Spectre de diffraction des rayons X de l'échantillon d'agglomérat

Les résultats de l'analyse minéralogique par DRX de l'échantillon d'agglomérat sont présentés sur la figure 3. On observe que Le diffractogramme X met en évidence l'existence de différentes phases minéralogiques, à savoir : l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et la magnétite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Les pics plus importants sont l'hématite ( $33,37$  et  $54,26^\circ 2\theta$ ) et de la magnétite ( $30,24$  et  $43,24^\circ 2\theta$ ) caractérisés par une forte intensité bien exprimée.

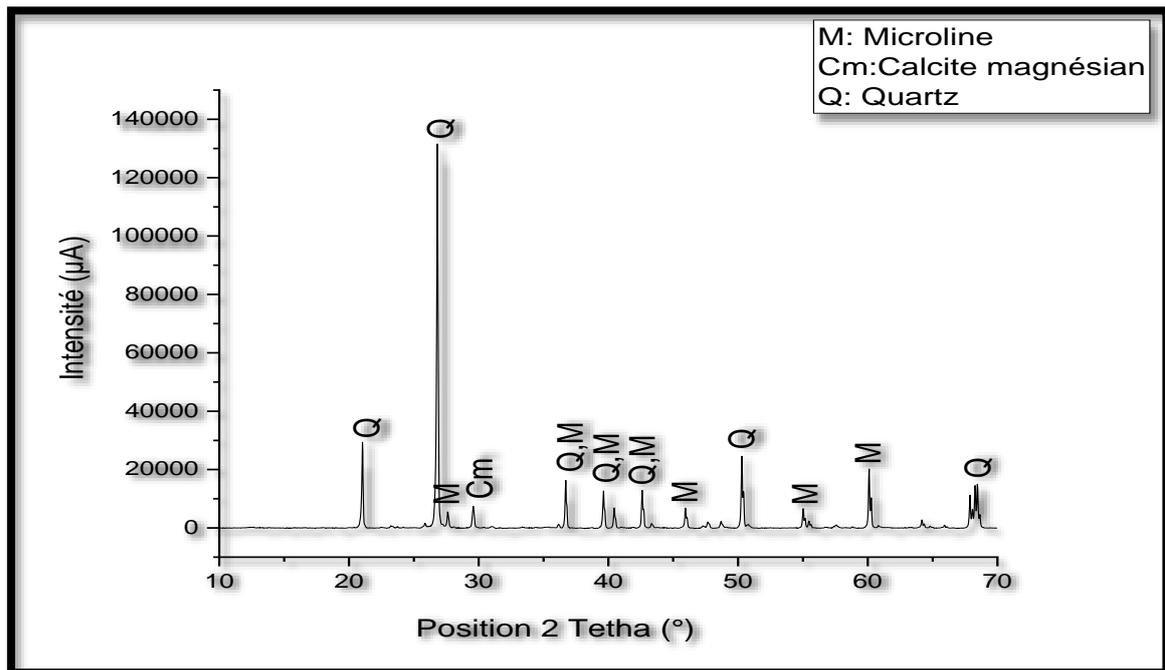
La figure IV.9 représente la caractérisation minéralogique de la castine.



**Figure IV.9:** Spectre de diffraction des rayons X de l'échantillon de la castine

Les résultats de l'analyse minéralogique par DRX de l'échantillon initiale de la castine sont présentés sur la figure 4. On observe que les principaux constituants minéralogiques sont principalement la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomie ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) et la calcite magnésien. La calcite a des pics de diffractions intenses ( $2\theta$ ) à  $36,15^\circ$  et  $47,64^\circ$ , les pics intenses de la dolomie sont à  $31,28^\circ$  et  $65,88^\circ$   $2\theta$  et la calcite magnésien à  $39,64^\circ$  et  $48,70^\circ$   $2\theta$ .

La figure IV.10 représente l'analyse minéralogique du sable.



**Figure IV.10** : Spectre de diffraction des rayons X de l'échantillon du sable

Les résultats de l'analyse minéralogique par DRX de l'échantillon initial du sable sont présentés sur la figure 5. On observe que les principaux constituants minéralogiques sont principalement le quartz, microline et la calcite magnésienne. Les pics plus importants sont du quartz (21,19 et 26,98°2θ), de la microline (46,14 et 60,06°2θ) et de la calcite magnésienne (29,54°2θ) caractérisés par une forte intensité.

## IV.2. Paramètres influençant le processus d'agglomération et les propriétés des agglomérés

### IV.2.1. Influence de l'homogénéisation sur la qualité d'aggloméré

Les tas utilisés (117 et 119) durant une période et les résultats de diverses analyses chimiques sont déterminées pendant les mois de Février et Mars. Il est important de comprendre l'effet de l'homogénéisation du tas sur le minerai et sur les agglomérés résultants. Nous aurons à analyser les résultats chimiques des tas de minerai repris et ceux des agglomérés obtenus à partir de ces mêmes tas 117 et 119.

Ces résultats sont dressés dans les tableaux suivant :

Tableau IV.2 : Analyse chimique du minerai en tas 117

Jours	Eléments	Fe	PF	IP	H <sub>2</sub> O
01/02/2023	MRS BK	53,96	7,62	0,18	7,99
	FR	51,69	0,01	0,94	5,09
	MRS OZ	42,04	13,45	2,06	6,58
	Castine 8-15 mm	0,45	42,18	32,34	2,20
02/02/2023	Calamine	72,16	-	0,34	-
	P gaz	30,00	27,11	0,93	7,88
	MRS OZ	39,76	16,50	1,81	6,53
03/02/2023	MRS BK	49,35	7,53	0,28	7,10
	FR	45,96	4,76	1,13	6,19
04/02/2023	MRS BK	51,62	7,46	0,23	6,81
	MRS OZ	49,13	8,91	0,70	7,12
05/02/2023	MRS OZ	41,88	13,57	0,90	6,13
	MRS BK	50,03	9,25	0,68	6,88
	FR	45,96	10,55	1,03	5,26
06/02/2023	FR	44,15	9,25	0,53	7,55
	P gaz	19,81	49,43	1,11	4,17
	MRS OZ	41,59	9,16	1,15	13,02
07/02/2023	MRS OZ	39,17	16,48	2,46	2,46

Tableau IV.3: Analyse chimique de l'agglomérat du tas 117.

Fe%	FeO%	CaO%	SiO <sub>2</sub> %	IP
48,96	8,03	12,71	12,17	1,04
49,53	6,57	11,79	11,82	1,00
49,81	9,13	12,31	12,25	1,01
49,67	9,31	12,25	12,03	1,02
49,81	9,49	12,38	11,96	1,04
49,95	10,22	12,31	12,33	1,00
50,23	9,86	12,05	11,86	1,02

Tableau IV.4: Analyse chimique de minerai en tas 119.

Jours	Eléments	Fe	PF	IP	H <sub>2</sub> O
01/03/2023	MRS BK	52,07	8,46	0,42	6,12
02/03/2023	MRS OZ	45,50	15,75	3,81	2,15
03/03/2023	MRS OZ	46,98	12,83	2,66	7,98
06/03/2023	FR	46,98	Néant	1,05	5,20
	Castine 8 x 15mm	0,45	43,12	23,31	4,37
07/03/2023	P Gaz	29,43	23,29	0,74	15,38
	Castine	0,51	45,34	15,67	5,36
08/03/2023	Calamine	68,48	Néant	2,18	18,08
	P Gaz	28,30	37,62	0,77	7,32
09/03/2023	Calamine	68,48	Néant	0,31	-
	Castine 8 x 15mm	0,39	38,76	14,06	2,36
10/03/2023	MRS OZ	42,32	12,95	0,59	5,65
11/03/2023	MRS OZ	41,99	13,69	0,64	6,38

Tableau IV.5: Analyse chimique de l'agglomérat du tas 119.

Fe%	FeO%	CaO%	SiO <sub>2</sub> %
47,97	5,48	13,30	12,96
47,83	7,12	13,62	13,89
48,11	6,94	13,69	14,10
47,26	6,94	15,29	12,92
47,54	9,49	14,70	13,67
49,95	7,67	12,94	11,19
49,38	8,76	12,86	11,62
47,12	9,13	14,55	13,45
47,83	8,76	13,82	13,09
47,54	9,31	14,11	12,94

D'après les résultats obtenus on constate que dans le tas 117 on a pu obtenir un aggloméré avec une teneur en fer jusqu'à 50% qui est demandé au haut fourneau. Par contre dans le tas 119 on a obtenu un agglomérat d'une teneur de 47% qui est un peu hors la fourchette de haut fourneau.

Alors d'après ces deux tas on va dire que le tas 117 est bien homogénéisé par rapport au tas 119. Pour corriger ce problème et augmenter le degré d'homogénéisation, on utilisera les méthodes suivantes [24] :

La sélection des machines peut être effectuée à la fois au stade de l'établissement et de l'investissement d'un projet au cours des opérations en cours, les méthodes doivent être perfectionnées pour mieux utiliser les dispositifs existants. L'amélioration de l'efficacité de l'homogénéisation du minerai peut être obtenue par :

- Constitution du tas en bandes : Dans ce cas, la charge est déversée dans la couche supérieure. Bien que cela réduise la ségrégation du minerai, la construction de décharges est techniquement beaucoup plus complexe. Dans ce cas, les flèches doivent fonctionner dans les plans horizontal et vertical.
- Augmentation du nombre de couche dans le tas : L'expérience montre que le résultat de l'homogénéisation dépend du nombre de couches superposées sur le tas. Plus il y a de couches, meilleur est le résultat d'homogénéisation.
- Diminution de la granulométrie du minerai : Il a également été démontré expérimentalement qu'une meilleure homogénéisation peut être obtenue en réduisant la taille des particules du minerai.
- Aménagement efficace du parc : La maximisation de la capacité de stockage par la formation de grands stocks améliore le degré d'homogénéisation du minerai. En construisant de grands tas, il devient possible de limiter l'effet des d'extrémités du tas. Atteint une bonne homogénéisation de l'arbre tout en réduisant la quantité de bord.

#### **IV.2.2. Influence du taux de FeO sur la qualité de l'aggloméré**

Des analyses chimiques et physiques des agglomérés sont effectuées pour déterminer l'effet de FeO sur la qualité des agglomérats.

**IV.2.2.1. Analyse physique**

**A. Analyses granulométrique des Agglomérés**

L'aggloméré du secteur de l'agglomération subit un processus de tamisage pour déterminer les différentes tailles de particules. La maille de ces tamis est respectivement de 5 ; 10 ;25 ;40 ;50. Ces résultats sont présentés dans le tableau IV.6.

**Tableau IV.6:** Analyse granulométrique et mécanique de l'agglomérat

Maille (mm)	<5	5 - 10	10 - 25	25 - 40	40 - 50	>50	T	A
Pourcentage %	2,9	19,5	22,3	38,9	10,3	6,1	64,1	6,1
Standard %	6 max	25-30	10-15		30-40	5 max	>64,0	<7,0

D'après les résultats de l'analyse granulométrique du 1<sup>er</sup> mars 2023, nous remarquons que la majorité des particules varie entre 25 mm et 40 mm. La majorité des proportions sont selon recommandés par le standard sauf des grains ayant une granulométrie supérieure à 50mm. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de revoir les paramètres de la chaîne d'agrégation et de réviser la machine.

**B. Résistance mécanique**

Pour effectuer cette analyse, l'agglomérat est passé dans un broyeur à cylindre à l'échelle du laboratoire après avoir calculé la force de cohésion T et l'attrition A. D'après les résultats obtenus résumés dans le tableau IV.5, nous remarquons que :

- L'indice de cohésion  $T > 64$ , les agglomérats seront très durs et difficiles à briser. Cela signifie que du coke fin est consommé, ce qui surchauffe les agglomérats.
- A un indice d'abrasion  $A < 7$ , les agglomérats deviennent cassants. Après cela, on doit ajouter une petite quantité de fine de coke pour cuire complètement les agglomérats.

**IV.2.2.2. Analyses chimique**

Les analyses chimiques ont été effectuées au complexe EL-HADJAR toutes les 2 heures pour connaître la qualité des agglomérer selon cet indice. La teneur en FeO doit être entre 7 et 9 %.

- Si la valeur de FeO est  $< 7$ , l'agglomérat devient très cassant et inadapté aux hauts

## Chapitre IV *Caractérisation et paramètres influençant sur la qualité de l'agglomérat*

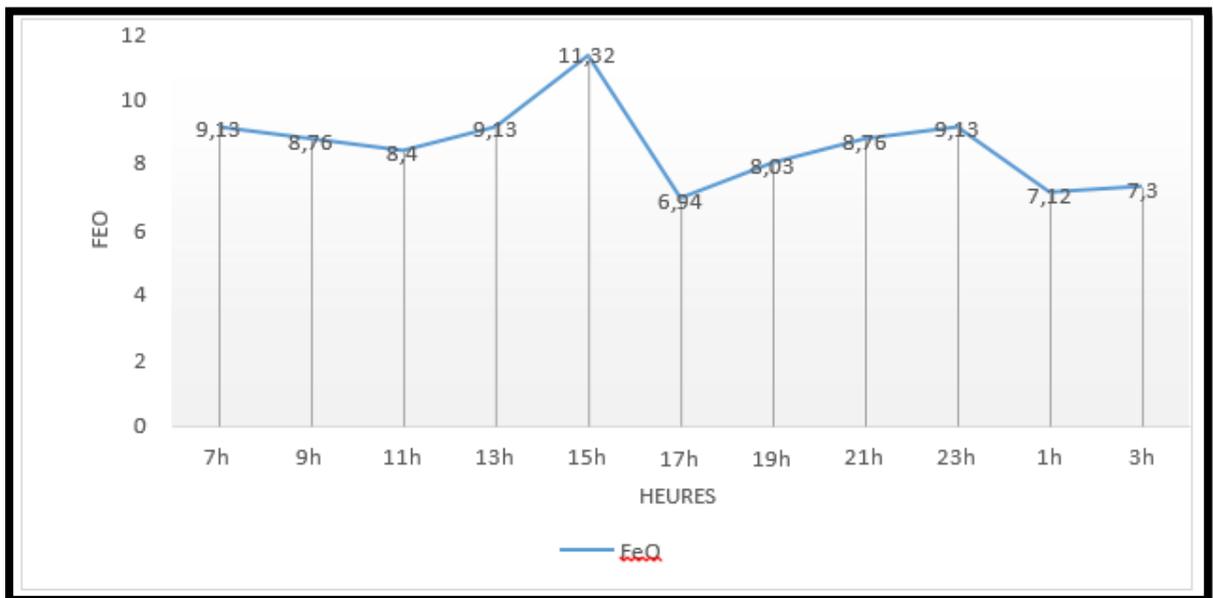
fourneaux.

- Si la valeur de FeO > 9 notre agglomérat va être très dure, l'agglomérat ni pas bien pour le haut fourneau.

Les résultats de l'analyse chimique sont dressés dans le tableau IV.7 et la représentation graphique donnant la teneur en FeO en fonction du temps est donnée par la figure IV.11

**Tableau IV.7:** Analyse chimique de l'agglomérat prise le 04/03/2023

Temps (h)	7	9	11	13	15	17	19	21	23	1	3
FeO%	9,13	8,76	8,40	9,13	11,32	6,94	8,03	8,76	9,13	7,12	7,30



**Figure IV.11:** Variation de teneur en FeO en fonction du temps

D'après les résultats obtenus on constate que :

- La valeur de FeO à 15h00 est de 11,32%, en dehors de la fourchette [7-9]. Ici on peut dire que la consommation de coke au niveau du haut fourneau est trop élevée car nos agglomérats sont très durs.
- FeO à 17h00 est hors la fourchette à 6,94%. On peut dire que notre agglomérat est cassant et fragile, le rendement fin est trop élevé.

Et pour corriger cette indice dans ces deux cas :

Si  $\text{FeO} > 9\%$

- On doit diminuer les fines de coke.
- On doit augmenter la vitesse de la chaîne.
- On doit augmenter la hauteur de couche.

Si  $\text{FeO} < 9 \%$

- On doit diminuer la vitesse de la chaîne.
- On doit augmenter la consommation de la fin de coke.
- On doit augmenter la hauteur de couche.

### **IV.2.3. Influence du taux de fines de retour**

Les particules de fine de retour chaud peuvent avoir un impact significatif sur le processus d'agglomération du minerai de fer. Premièrement, la teneur en humidité des fines de retour chaudes peut être supérieure à celle des fines de retour froides, ce qui peut augmenter la consommation d'énergie pour sécher les fines de retour avant de les ajouter au mélange alimentaire. De plus, les fines à chaud ont une température plus élevée que les fines à froid, ce qui peut augmenter la température du lit de frittage et affecter la qualité de l'aggloméré produit. Enfin, la proportion de fines dans les fines de retour chaude peut être différente des fines de retour froide, ce qui peut affecter la qualité de l'aggloméré réalisé.

Les microparticules fines de retour sont de taille relativement grossière, ce qui permet une meilleure pénétration. De plus, ils agissent comme des noyaux pour les « nodules » et favorisent la formation de petits nodules aux extrémités. La température plus élevée du mélange (due à la recirculation directe des fines de recyclage chaudes) empêche la condensation de quantités excessives d'humidité qui se forme au-dessus du mélange et est ensuite entraînée vers le bas par le gaz. Cela réduit progressivement l'importance du front d'eau jusqu'à ce qu'il disparaisse lorsque la température est égale au point de rosée du mélange.

Chaque mélange a une vitesse de réponse optimale. Un écart trop important par rapport à la valeur optimale entraîne une perte de productivité. Le processus d'agglomération doit prendre en compte que les fines de retour doivent être boucler; À tout moment, le montant total des fines de retour criblées doit être égal au pourcentage des fines

de retour ajouté au mélange. Le taux de fine de retour affecte la productivité et la résistance de l'aggloméré. Pour assurer une bonne production et un aggloméré de qualité uniforme, le taux de fines de retour ajouté au mélange devrait être maintenu à un niveau constant. D'autre part, la quantité de fines de retour se formant au cours du processus [18].

Il existe plusieurs méthodes pour régler le problème de fine de retour dans le procédé d'agglomération de minerai de fer.

- Il est important de surveiller la teneur en humidité de la fine de retour.
- Il est important de surveiller la température de la fine de retour.

Il est également important de surveiller la teneur en fines de la fine de retour et de les contrôler pour éviter une surcharge en fines dans le processus d'agglomération et d'éviter d'avoir un agglomérat friable.

#### **IV.2.4. Influence de la dépression**

La dépression augmente un peu au commencement du frittage à cause de la condensation de la vapeur d'eau dans les parties inférieures à la zone de combustion. La dépression dans le lit d'agglomération de minerai de fer peut avoir des effets négatifs sur le procédé d'agglomération en affectant la fluidité et la porosité du lit. En effet, la dépression peut entraîner une réduction de l'espace entre les particules, ce qui peut entraver la circulation de l'air et du gaz à travers le lit et diminuer la porosité. Cela peut à son tour affecter la qualité des granules ou des boulettes produites, car la porosité est un facteur clé pour la diffusion des gaz et la réduction des particules de minerai de fer. En conséquence, la gestion de la dépression dans le lit d'agglomération est cruciale pour assurer une production de qualité et une efficacité opérationnelle optimale [18].

Pour régler le problème de la dépression dans le procédé d'agglomération de minerai de fer. Il est important de surveiller régulièrement la pression dans le lit d'agglomération et de s'assurer que les niveaux sont maintenus dans les limites nécessaires pour une production de qualité.

#### **IV.2.5. Influence des pertes au feu sur la teneur en Fer**

Ce paramètre examine la teneur en fer de deux minerais, El-OUENZA et BOUKHADRA. Les résultats des pertes au feu et des teneurs en fer sont donnés dans le tableau IV.8, la représentation graphique donnant la PF en fonction de la teneur en fer (FeO) est donnée par la figure IV.12.

Tableau IV.8: Pertes au feu du mois de Février 2023

<b>FeO %</b>	53,96	42,04	39,76	49,35	51,62	49,13	41,88	50,03	41,59	39,17
<b>PF</b>	7,62	13,45	16,50	7,53	7,46	8,91	13,57	9,25	9,16	16,48

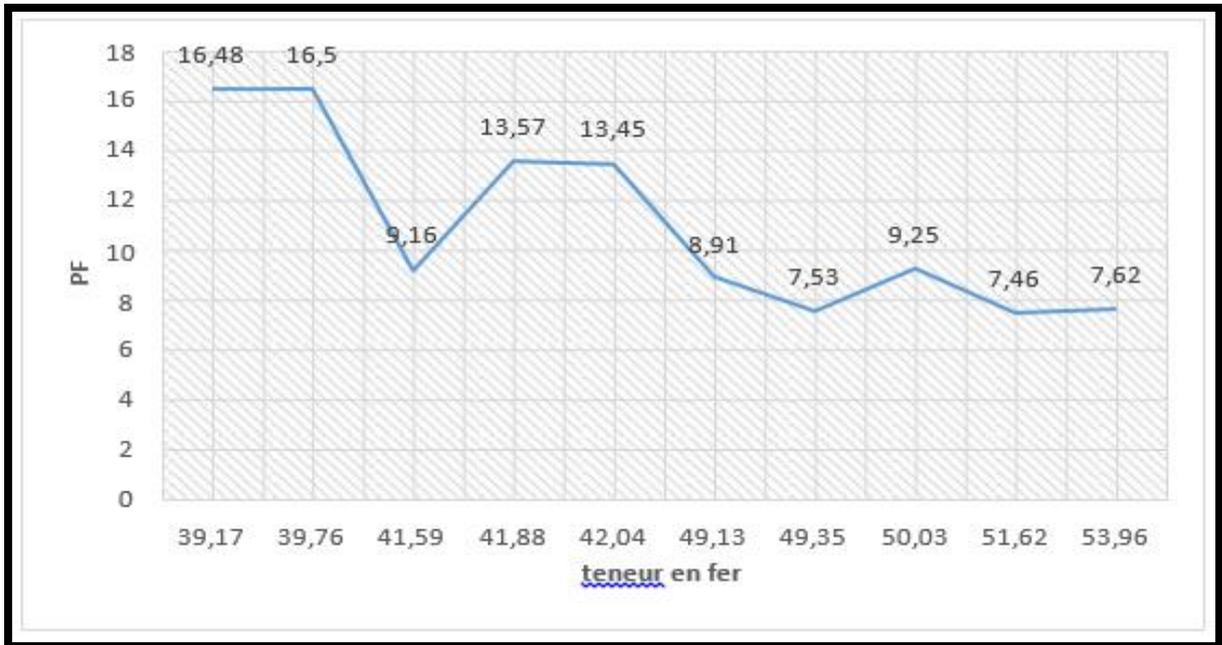


Figure IV.12: Pertes au feu (PF) en fonction de la teneur en fer (FeO)

Les résultats obtenus montrent que les pertes au feu diminuent avec l'augmentation de la teneur en fer. Plus que les pertes au feu est important, plus la teneur en fer est faible.

Les pertes au feu signifient :

- La libération de l'eau et de gaz contenus dans le minerai lorsqu'il est chauffé à des températures élevées.
- Perte de masse et de volume, ce qui peut affecter la qualité et la quantité du minerai restant.
- L'évaporation de certain composant volatil tel que le soufre et le carbone
- Plus que le minerai de fer est riche en impuretés, les pertes au feu est élevée.
- La quantité de pertes au feu dépend également de nombreux autres facteurs (la température de chauffage, la durée de chauffage et les conditions environnementales).

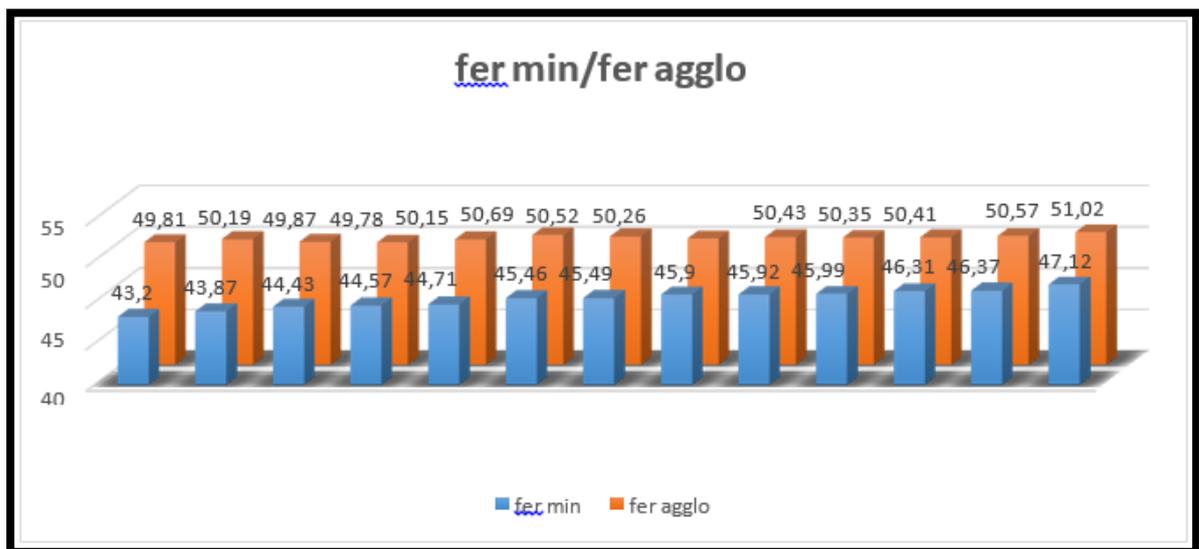
Pour contrôler les pertes au feu et garantir la rentabilité de la production de minerai de fer, il est important d'utiliser des matières premières de qualité et surveiller leur composition chimique pour éviter les conditions de combustion défavorables.

**IV.2.6. Influence de la teneur en fer sur la qualité de l'agglomérat**

Dans cette partie, on va comparer la teneur en fer dans le minerai et dans l'agglomérat. Les résultats des teneurs en fer dans le minerai et dans l'agglomérat sont donnés dans le tableau IV.9, la représentation graphique donnant les différentes teneurs en fer dans le minerai et dans l'agglomérat sont données dans la figure IV.13.

**Tableau IV.9:** Analyse prise en mois de Février

<b>Fe min</b>	43,20	43,87	44,43	44,57	44,71	45,46	45,49	45,90	45,92	45,99	46,31	46,73	47,12
<b>Fe aggro</b>	49,81	50,19	49,87	49,78	50,15	50,69	50,52	50,26	50,43	50,35	50,41	50,57	51,02



**Figure IV.13:** Histogramme de la teneur en Fe dans le minerai et dans l'agglomérat

D'après les résultats on peut dire que lorsqu'on a une teneur de minerai faible de 43,20% on a obtenu un agglomérat de teneur 49,81% ; dans le cas où la teneur de minerai est riche de 47,12% on a peu obtenu un agglomérat de 51,02%. Sur la base de ces deux cas, pour les minerais à faible teneur, nos agglomérats ne sont pas aux normes, mais pour les minerais à haute teneur, les agglomérats sont idéaux pour les hauts fourneaux et autres ateliers.

La relation entre la teneur en fer dans le minerai et dans l'agglomérat est proportionnelle qui veut dire lorsque la teneur en fer dans le minerai augmente la teneur en

## Chapitre IV *Caractérisation et paramètres influençant sur la qualité de l'agglomérat*

agglomérer augmente.

Alors pour avoir un agglomérat représentatif et à la norme demandé du haut fourneau il est important d'avoir un minerai de fer d'une teneur élevée.

### IV.2.7. Influence de l'indice de basicité sur la qualité d'agglomérat

La basicité d'un aggloméré est définie par les rapports suivants :

L'indice partiel :  $I_p = \frac{CaO}{SiO_2}$  et l'indice général :  $I_g = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3}$

Tous les éléments (CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), constituent la gangue suivant l'élément qui domine. L'aggloméré est dit :

**Siliceux** : si le rapport  $\frac{CaO}{SiO_2} < 1,2$  à  $1,3$  ou  $\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} < 1$ .

**Basique** : si le rapport  $\frac{CaO}{SiO_2} > 1,3$  à  $1,4$  ou  $\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} > 1$ .

**Auto – fondant** : si le rapport  $\frac{CaO}{SiO_2} = 1,2$  à  $1,4$  ou  $\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = 1$ .

La composition chimique du type de calcaire (Castine) utilisé est donnée dans le tableau (IV.10).

**Tableau IV.10** : Analyse chimique de la castine

Matière	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PF	H <sub>2</sub> O
Taux %	1.98	52.63	1.87	Néant	0.36	41.40	3.50

La composition chimique du type de sable utilisé est donnée dans le tableau (IV.11).

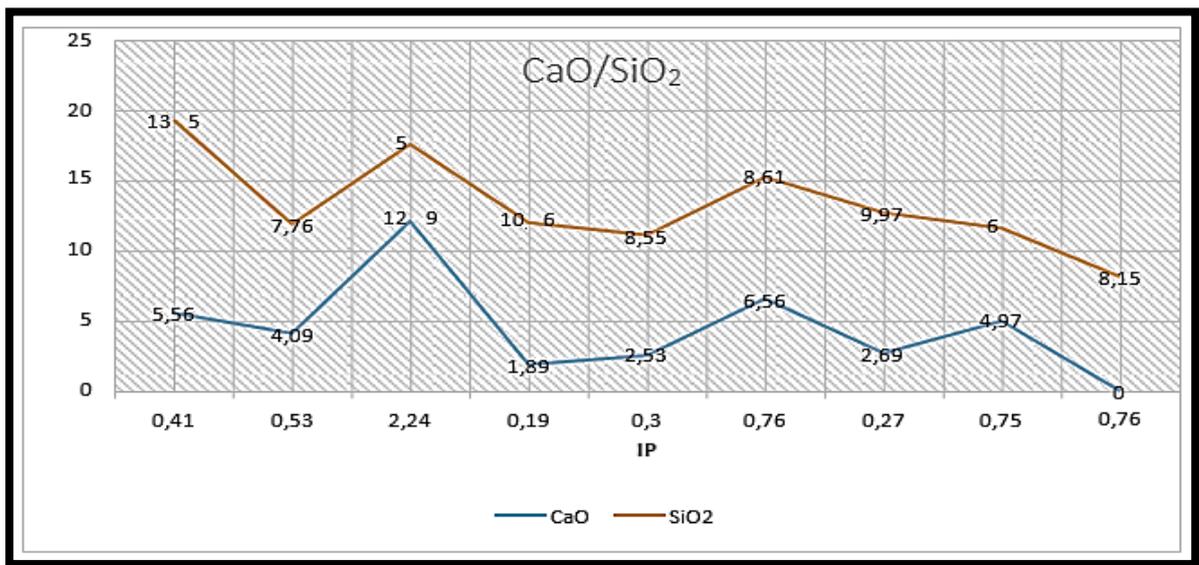
**Tableau IV.11**: Analyse chimique de sable.

Matière	Fer	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	PF
Taux %	0.57	1.99	94.54	Néant	0.61	Néant	0.69

Les résultats de taux de silice et de chaux en minerai de fer de Boukhadra sont donnés dans le tableau IV.12, la représentation graphique de taux de silice et de la chaux dans le minerai de Boukhadra sont données dans la figure IV.14.

**Tableau IV.12:** Analyse chimique du minerai de Boukhadra

Fe/BK	Eléments		
	CaO	SiO2	IP
44,41	5,56	13,65	0,41
51,01	4,09	7,76	0,53
43,18	12,09	5,4	2,24
51,15	1,89	10,06	0,19
51,98	2,53	8,55	0,30
46,85	6,56	8,61	0,76
51,24	2,69	9,97	0,27
50,74	4,97	6,6	0,75
48,635	6,18	8,15	0,76



**Figure IV.14:** Rapport entre la chaux et la silice

D'après les résultats obtenus :

- Lorsque la teneur en fer est élevée la teneur de silice et de chaux diminue. On remarque que le minerai de Boukhadra est riche en silice.
- Lorsque la silice augmente la chaux augmente et le contraire est vrai.
- Les résultats de taux de silice et de chaux en minerai de fer d'El Ouenza sont donnés dans le Tableau IV.13, la représentation graphique de taux de silice et de la chaux dans le minerai d'El Ouenza sont données dans la figure IV.15.

Tableau IV.13: Analyses chimique de minerai de l'Ouenza

	Eléments		
Fe/OZ	CaO	SiO2	IP
36,85	20,24	3,01	5,33
47,44	10,57	3,01	2,23
55,83	5,84	3,01	2,82
48,68	11,59	3,01	6,36
35,48	20,13	3,01	0,31
49,78	7,99	3,01	0,35
51,84	5,77	3,01	1,04
56,38	4,36	3,01	1,62
53,74	6,05	3,01	1,57

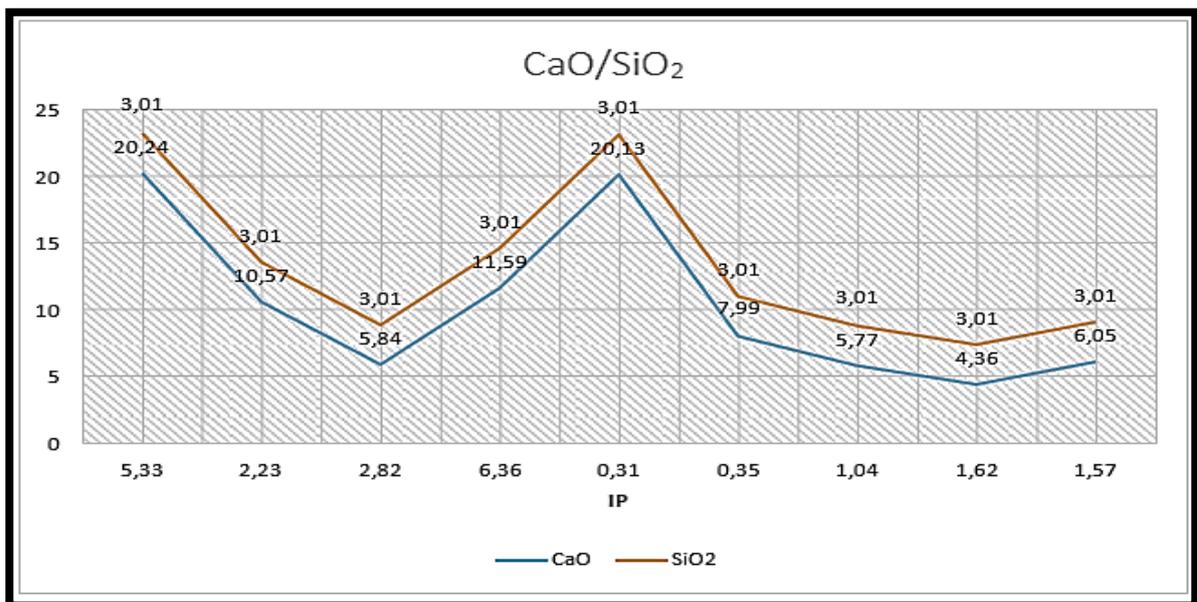


Figure IV.15: Rapport entre la chaux et la silice

D'après le graphe :

- On remarque que l'augmentation de la chaux et de la silice est parallèle. Le minerai de l'Ouenza est riche en chaux.
- Le tableau IV.14 représente une comparaison de l'indice de basicité entre le minerai et l'agglomérat selon différents postes.
- C'est pour cette raison on fait l'homogénéisation des deux minerais de boukhadra et el Ouenza car le minerai de boukhadra il est riche en silice (acide) et le minerai d'el ouanza il

## Chapitre IV *Caractérisation et paramètres influençant sur la qualité de l'agglomérat*

est riche en chaux (basique) et l'indice de basicité représente la somme des éléments basique sur la somme les éléments acides pour avoir un indice représentatif.

**Tableau IV.14 :** La variation le pourcentage IP dans le minerai et l'agflo

Poste	1			2			3		
<b>IP minerai</b>	1.08			1.29			1.13		
<b>IP agflo</b>	1.00	1.02	1.03	1.12	1.09	1.02	1.01	1.10	1.11

L'HF exige que la basicité doit être au voisinage de 1 (IP :1-1,10).

D'après les résultats de tableau en remarque la diminution le pourcentage d'IP dans l'agglomérée.

L'impact de l'indice de basicité

- Lorsque l'indice de basicité est trop basique ( $>1$ ) le laitier sera trop visqueux alors le colis sera difficile.
- Lorsque l'indice de basicité est trop acide ( $<1$ ) les oxydes acides vont attaquer les briques réfractaires et les abimer.

### **Solution**

- Si  $IP < 1$  notre mélange est acide qui demande consommation trop de chaux
- Si  $IP > 1$  notre mélange est basique on augmente la consommation du sable

### **IV.2.8. Perméabilité du mélange**

Le processus d'agglomération sur la chaîne peut être accéléré par l'augmentation de perméabilité du mélange ou bien par l'augmentation de la dépression au-dessous, ce qui est cependant limité par le débit des ventilateurs.

La perméabilité peut être améliorée par : la granulométrie du mélange (réduire les gros grains et les plus fins  $< 0,1$  mm), humidité, hauteur de la couche ainsi que par le taux de combustible, fines de retour et additions ajoutées après la dépression.

Une perméabilité élevée d'une partie de couche augmente la vitesse verticale de cuisson, et le front de flamme arrive plus vite à la grille que dans les autres parties de la

chaîne avec perméabilité faible.

Les conditions de perméabilité s'améliorent grâce à la diminution de la hauteur de la zone de scorification[10].

- La scorification dans le haut-fourneau s'accélère à cause du contact intime entre les composants.
- La quantité des matières chargées dans le haut fourneau rapportée pour une tonne de la fonte élaborée diminue.

#### **IV.2.9. Influence l'humidité du mélange sur la qualité d'agglomère**

Les résultats de l'humidité du mélange selon chaque poste sont représentés dans le tableau IV.15.

**Tableau IV.15:** L'humidité du mélange

<b>H2O/Poste</b>	<b>Mélange</b>
P1	9,68
P2	10,20
P3	10,08

Standard de l'humidité du mélange  $8\% \pm 0,5$

D'après le standard en remarque que l'humidité du mélange est élevée

#### **A. L'impacte**

- L'augmentation la mise au mille du coke
- Formation d'une boue
- Réduire la résistance mécanique et la porosité de l'aggloméré

#### **B. Solution**

On peut remédier au phénomène de sur-humidification par le recyclage direct des fines de retour chaudes de 30 à 35 % max dans le mélange qui aura une température de 60 à 70 °C.

#### **IV.2.10. Influence de la répartition du mélange sur la chaîne d'agglomération**

Lors de l'alimentation d'une chaîne agglomération, il est nécessaire de charger le mélange de manière régulière et homogène sur toute la longueur de la chaîne. Après allumage, la propagation du front de flamme est assurée par l'aspiration de la couche d'air, la vitesse verticale du front de flamme dépend de la perméabilité, donc de la vitesse de l'air traversant cette couche lors de la cuisson [2].

#### **IV.2.11. Influence de l'allumage du mélange**

L'allumage correct et uniforme du supérieur du mélange joue un rôle très important pour le déroulement ultérieur du processus d'agglomération.

##### **Une trop basse température d'allumage provoque :**

- Un allumage incomplet du mélange entraîne une combustion incomplète du combustible dans la couche supérieure,
- L'agglomérat sortant de hotte d'allumage présente alors une surface brusquement refroidie par l'air froid aspiré du milieu ambiant
- Une partie de combustible non allumée par la flamme directe des brûleurs n'arrivera plus à se brûler complètement.

C'est pourquoi dans la couche supérieure la quantité d'agglomérat cuite augmente et passe après aux fines de retour.

##### **La température d'allumage trop élevée provoque :**

Fusion excessive de la couche supérieure de l'agglomérat (dans ce cas, cette couche devient moins poreuse, réduisant la vitesse de combustion verticale et empêchant ainsi le passage ultérieur de l'air).

Ceci se répercute négativement sur la production de l'aggloméré. Un bon allumage du mélange se reconnaît par l'aspect de la surface supérieure de l'aggloméré. Cette surface (après la hotte d'allumage) doit être dure, bien brûlée et de couleur acier sur toute la largeur de la chaîne [20].

Les différentes zones dans le lit d'agglomération sont représentées dans la figure IV.16.

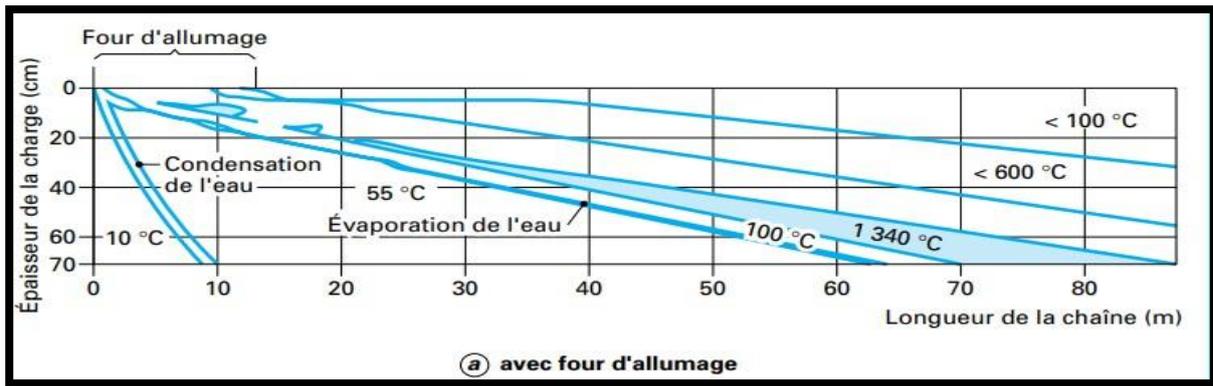


Figure IV.16: Variation de la température au cours de lit d'agglomération

#### IV.2.12. Influence de la hauteur de couche

La hauteur de couche ne peut subir une augmentation quelconque. Chaque mélange a une hauteur de couche maximale au-delà de laquelle la productivité diminue. Les répartitions de température et quantités de chaleur entre les différentes zones de l'agglomérat évoluent au fur et à mesure que le front de flamme se déplace de haut en bas.

La couche inférieure à une température considérable et offre une bonne résistance. Par conséquent, l'augmentation de la hauteur de couche augmente la résistance, mais jusqu'à une certaine limite, car une diminution de la perméabilité est observée. Pour la consommation de combustible, elle diminue avec l'augmentation de la hauteur de la couche.

#### IV.2.13. Influence de la granulométrie sur la qualité d'agglomérat

##### A. Influence de la granulométrie de minerai

Les résultats de l'analyse granulométrique du minerai sont donnés dans le tableau IV.16.

Tableau IV.16 : Analyse granulométrique du minerai

Poste	<0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3,5	3,5 - 5	5 - 6,3	6,3 - 8	8 - 10	> 10
P1	28,8	9,9	11,9	11,4	10,1	5,2	9,2	5,9	7,6
P2	27,8	10,3	12,0	12,1	11,3	7,8	9,5	6,8	2,4
P3	24,3	9,7	11,4	12,3	11,7	8,5	10,1	6,7	5,3
Standard %	20-25								1,0 max

D'après l'analyse granulométrique du minerai on remarque que :

- Les particules  $<0,5$  dépassent le standard alors y a trop de fines particules qui provoque la diminution de la productivité et elle a un impact nocif sur le procédé de frittage. L'existence de fines dans la charge du haut fourneau réduit la perméabilité et provoque une hétérogénéité dans la répartition de la charge ;
- Les particules  $>10$  dépasse aussi le standard et leur influence est
- ✓ Pour surchauffer de gros grains, une des plus grandes quantités de chaleur est demandée (Augmentation de la consommation du fine coke) ;
- ✓ Afin de produire l'aggloméré a partie du mélange ayant de gros grains. Il faut allonger le temps de leur fusion en conséquence de gros grains du minerai ont peu liés avec l'aggloméré les entourant elles perturbent la capacité de ce dernier ;
- ✓ Démineur le rendement de la chaîne.

L'expérience de plusieurs unités de sidérurgie permet de constater que l'abaissement de la limite supérieure de la dimension des grains du minerai au-dessous de 10 mm jusqu'à 8 ou 6 mm constitue une condition nécessaire pour l'obtention de l'agglomérat résistant et pour la diminution de la consommation du combustible.

### **Solution**

- Vérifiez la taille de l'ouverture du crible
- Vérifier la distance des marteaux de broyeur est ce qu'égal à 50 %

En évitant la ségrégation des grosses particules, des agglomérats de bonne qualité chimique peuvent être obtenus, tout en augmentant la productivité de la chaîne et en réduisant le taux de fines de retour [2].

### **B. Influence de la granulométrie de fine de coke**

Les résultats de l'analyse granulométrique de fine de coke sont donnés dans le tableau IV.17.

**Tableau IV.17:** Analyse granulométrique de fine de coke

Poste	< 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3,5	3,5 - 5	5 - 8	8 - 10	> 10
<b>P1</b>	37,9	19,6	17,2	12,1	7,9	4,0	1,3	0,0
<b>P2</b>	32,9	18,0	16,3	15,0	12,1	4,8	0,9	0,0
<b>Standard</b>	18 max			2,5 max	2 max			
<b>Mail</b>	0,2-0,5	-	>3,5	>5	-	-	-	-

La présence des grains au-dessus de 3mm dans le combustible est défavorable par les motifs suivants :

- Les grains de combustible dépassant 3mm se répartissent mal dans la couche du lit de fusion.
- Lors de l'alimentation des chariots de la chaîne d'agglomération en mélange il se produit une ségrégation défavorable du combustible, de gros grains ont tendance de s'accumuler dans la couche inférieure ou il existe déjà un accès de chaleur par rapport à la partie supérieur.
- De gros grains de combustible se trouvant dans la couche superficielle d'agglomération, n'arrivent pas à se broyer complètement pendant le passage du mélange au-dessous de la hotte d'allumage

**Solutions pour la réduction de la consommation du combustible**

- Le fonctionnement du broyeur doit être optimisé pour limiter la production de fines (lors du déchargement et du stockage) et de particules grossières et éviter le sur- broyage.
- Modifiez le débit d'alimentation du broyeur en modifiant le nombre de barres (ou de tonnes de barres alimentées au broyeur) en ajustant la vitesse de l'extracteur à différentes positions[12].
- Un dispositif de pré-criblage (pour les fines moins 0,5mm) avant le broyage peut diminuer la mise au-mille-coke (coke destiné à l'agglomération). Le dispositif est incorporé juste avant l'alimentation du broyeur avec une maille de 5mm, le passant à ce crible ira directement à l'agglomération et le refus (>5mm) sera broyer avant de rejoindre les passants.

**IV.2.14. Influence la fine de coke sur la qualité d'agglomération**

Les résultats des tableaux (IV.18, IV.19) représentent les analyses chimiques de la fine de coke avant et après le broyage.

**IV.2.14.1. Analyse chimique de coke avant le broyage**

**Tableau IV.18:** Analyse chimique de coke avant le broyage

Elément	Cendre	MV	C	S	Fer	CaO	SiO2	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
<b>Réalisé</b>	10,20	0,85	81	-	9,0	5,58	45,65	3,3	24,21	0,37	-	-
<b>Standard %</b>	14Max	3max	85	1	-	-	35max	-	25Max	-	-	-

**IV.2.14.2. Analyse chimique de coke après le broyage**

**Tableau IV.19:** Analyse chimique de coke Après le broyage

Elément	Cendre	MV	C	S	Fer	CaO	SiO2	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
<b>Réalisé</b>	80,90	3,45	81	-	17,3	11,2	36,3	4,8	14,02	0,93	-	-
<b>Standard %</b>	14Max	3max	85	1	-	-	35max	-	25Max	-	-	-

**Remarque**

- L'analyse chimique montre une augmentation de la teneur en certains éléments lorsque l'on compare le coke avant et après broyage. Par exemple, la teneur en fer du coke est de 9 %, mais celle de la fine de coke est de 18,90 %.
- Dans le même cas, Cao est de 5,58 pour le coke et de 11,61 pour le coke fin.
- Le pourcentage de cendres dans la fine de coke dépasse la norme. D'après les tableaux de l'analyse chimique ; on remarque que :

Lors du stockage et du transport dans des zones poussiéreuses, la teneur en cendres et en certains éléments tels que Fe et CaO dans la fine de coke augmente. En effet, les poussières peuvent s'accumuler sur la fine de coke, augmentant leur poids et augmentant leur proportion dans la matière totale stockée. De plus, il peut également arriver que la fine

de coke soit contaminée, entraînant une augmentation de la teneur en impuretés.

### **Impacte de cendre**

Les cendres dans le coke métallurgique sont les matières minérales qui restent après que le charbon a été chauffé à haute température en l'absence d'air. Ainsi que de petites quantités de métaux et d'autres éléments. Si les niveaux de cendres dans le coke métallurgique dépassent les normes, cela peuvent affecter la qualité du coke métallurgique produit de plusieurs manières :

- Réduction de la résistance mécanique : La cendre est une impureté qui peut réduire la pureté du coke métallurgique. Cela affecte la qualité de l'agglomérat et réduit sa valeur, ainsi que la qualité de la fonte.
- Réduire la porosité de l'agglomérée donc on aura une mauvaise dépression.
- Plus la teneur en cendres dans la fine de coke est élevée, plus l'impact sur la qualité de l'aggloméré est important.

### **Solution apportée**

- Il est important de stocker la fine de coke dans un endroit propre et sec pour éviter la contamination et l'accumulation de poussière.
- Utilisez un mélange d'environ 45 % d'antracite et 55 % de fine de coke. L'utilisation de l'antracite peut avoir des avantages tels que :
  - ✓ Augmentation de l'effet calorifique
  - ✓ Diminution de la mise en mille de combustible du coke
  - ✓ L'antracite produit moins de déchet

Cependant si on dépasse 45% de l'antracite, il peut provoquer un gonflement qui entrainera un débouchement dans les dépoussiéreurs et par conséquent ça conduira à une explosion.

### **A. L'influence de l'humidité de fine de coke**

Selon le standard le pourcentage d'humidité il ne faut pas qu'il dépasse 12 %. Le tableau IV.20 illustre la consommation de la fine de coke selon sont humidité. La représentation graphique cette consommation est donnée dans la figure IV.17.

Tableau IV.20: La relation entre la consommation de fine de coke et leur humidité

Consommation de fine de coke	309,9	274,6	390,8	403,8	211,1
H <sub>2</sub> O (fine de coke)	12,14	11,38	12,5	14,12	11,47

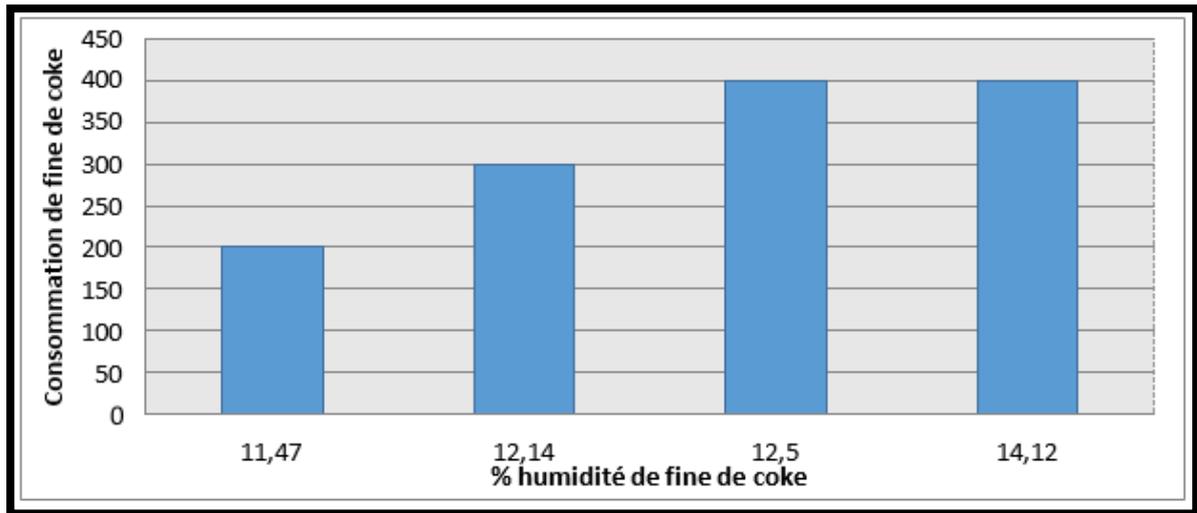


Figure IV.17: Consommation de fine de coke en fonction de l'humidité de fine de coke.

Ce graphe représente la consommation de la fine de coke en fonction de l'humidité en remarque que à 11,47% la consommation est de 200 tonnes tandis que à 14,12% Humidité à augmenter jusqu'à 400t on distingue que la consommation de la fine de coke augmente avec l'augmentation de pourcentage d'humidité.

### B. L'impact de l'humidité sur la qualité du coke

- Une humidité élevée entraîne la dégradation de la qualité de fine de coke.
- Diminuer le pouvoir calorifique de fine de coke lors d'agglomération.
- Lorsque la fine de coke contient de l'humidité la quantité d'énergie qu'elle peut produire lorsqu'elle est brûlée est réduite, car une partie d'énergie est utilisée pour évaporer l'eau présente dans la fine de coke.
- Lorsque l'humidité est élevée, la consommation de fine de coke augmente lors de l'agglomération (augmenté la mise en mille de fine de coke).
- Fluctuations non contrôlées de l'humidité -> fluctuations de la quantité de Carbone ajouté -> perturbation de la marche.
- Si combustible trop humide -> mauvaise répartition dans le mélange. Humidités

satisfaisantes : 15% pour poussier de coke 9% pour charbons.

**Solution :**

Pour éliminer l'humidité dans la fine de coke métallurgique :

- Stocké la fine de coke dans un endroit sec et bien ventilé peut aider à réduire l'humidité ;
- Séché 100 à 105°C la fine de coke avant l'utiliser pour garantir un pouvoir calorifique élevée.

**IV.2.15. Discussion des résultats**

Comme on a vu que l'homogénéisation du minerai a un impact sur la qualité d'agglomérer alors il est essentiel de construire des tas en bande, augmenter du nombre de couche dans le tas et de diminuer la granulométrie du minerai. Et pour la raison d'avoir un agglomérat parfait on fait l'homogénéisation des deux minerais de boukhadra et el ouenza car le minerai de boukhadra il est riche en silice (acide) et le minerai d'el ouanza il est riche en chaux (basique) et l'indice de basicité représente la somme des éléments basique sur la somme les éléments acides pour avoir un indice représentatif. Qui est de 1a 1,10.

Pour résoudre le problème de la résistance mécanique de l'agglomérat obtenue il est important de vérifier l'indice de cohésion et d'abrasion. En effet la solution proposée c'est diminuer la consommation de la fine de coke et d'augmenter la vitesse de la chaîne lorsqu'il est dur et vice versa lorsqu'il est friable.

Concernant le problème de fine de retour on peut l'éliminer au bien la réduire en surveillant la teneur en humidité et la température de la fine de retour, En évitant la ségrégation des grosses particules, des agglomérats de bonne qualité chimique peuvent être obtenus, tout en augmentant la productivité de la chaîne et en réduisant le taux de fines de retour. On peut remédier au phénomène de sur-humidification par le recyclage direct des fines de retour chaudes de 30 à 35 % max dans le mélange qui aura une température de 60 à 70 °C.

La dépression elle influe sur le procédé d'agglomération de minerai de fer. Il est important de surveiller régulièrement la pression dans le lit d'agglomération et de s'assurer que les niveaux sont maintenus dans les limites nécessaires pour une production de qualité.

Pour contrôler les pertes au feu et garantir la rentabilité de la production de minerai de fer, il est important d'utiliser des matières premières de qualité et surveiller leur composition chimique pour éviter les conditions de combustion défavorables.

Les conditions de perméabilité s'améliorent grâce à la diminution de la hauteur de la zone de scorification. Un bon allumage du mélange se reconnaît par l'aspect de la surface supérieure de l'aggloméré.

La granulométrie elle a un impact sur la fabrication de l'agglomérat, alors Il est possible de vérifier l'ouverture du crible et la distance des marteaux de broyeur pour avoir une bonne analyse granulométrique du minerai. Et le fonctionnement du broyeur pour la fine de coke doit être optimisé pour limiter la production de fines et de particules grossières et éviter le sur-broyage, en modifiant le débit d'alimentation du broyeur ou bien le nombre des barres, en ajustant aussi la vitesse de l'extracteur à différentes positions.

La contamination de fine de coke provoque l'augmentation des impuretés de sa composition chimique alors il est important de stocker la fine de coke dans un endroit propre et sec pour éviter la contamination et l'accumulation de poussière. Et Pour éliminer l'humidité dans la fine de coke métallurgique le stocké dans un endroit sec et bien ventilé peut aider à réduire l'humidité et le séché à 105°C avant l'utiliser pour garantir un pouvoir calorifique élevée.

## **Conclusion**

La technologie d'agglomération du minerai de fer est un phénomène complexe. La préparation du mélange minéral (minerai, fondant, combustible, additifs divers) joue un rôle très important dans l'évolution de la qualité de l'agglomérat.

La qualité des agglomérats obtenus sur chaîne est généralement déterminée par les critères suivants :

- Propriétés minéralogiques du minerai ;
- La composition chimique du mélange ;
- Détermination granulométrique des mélanges ; Les objectifs de qualité du frittage doivent inclure :

## *Chapitre IV      Caractérisation et paramètres influençant sur la qualité de l'agglomérat*

---

- Répond aux normes de qualité exigées par l'industrie des hauts fourneaux, cohérentes avec l'industrie d'agglomération (indice de basicité, résistance mécanique, teneur en divers composants, granulométrie)
- Une bonne régularité des agglomérats est obtenue. Le choix des critères de qualité et de régularité est guidé par le fonctionnement du haut fourneau et est lié aux propriétés physiques et chimiques des matières premières.

En conclusion, les paramètres qui influencent le procédé d'agglomération de minerai de fer sont nombreux et variés, il est donc important de prendre en compte tous ces paramètres pour optimiser le processus d'agglomération et obtenir des granulés de minerai de fer de haute qualité.

# *Conclusion Générale*

## *Conclusion Générale*

---

Le minerai de fer est très demandé sur le marché mondial. Cependant, pour le vendre en tant que produit, il est nécessaire de traiter les impuretés qu'il contient. Le minerai de fer ainsi traité répond donc aux exigences de l'industrie et aux normes internationales, notamment de la sidérurgie.

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar est principalement composé de 08 divisions. Parmi ces divisions on trouve la division PMA, elle approvisionne essentiellement les matières premières du complexes avec des paramètres optimaux nécessaires afin de garantir la bonne qualité du produit fini.

Une manipulation appropriée des matières premières est nécessaire pour atteindre les objectifs De rentabilité de l'entreprise. Cela signifie qu'il doit être agglomérat avant d'être mis dans le haut fourneau. Cela permet, d'une part, d'éviter de mettre dans le haut fourneau des produits avec une trop forte proportion des particules fines. D'autre part, d'obtenir une charge plus homogène. Ces deux conditions sont pratiquement indispensables au fonctionnement des hauts fourneaux.

Notre étude a montré que les différents paramètres tels que la composition du minerai, la taille des particules, la résistance mécanique la température et la pression de l'air ont une influence significative sur la qualité des agglomérats. En utilisant les analyses pour caractériser les matières premières afin d'obtenir un agglomérat plus solide avec des propriétés physiques et chimiques et physico-chimiques adéquates, qui peuvent être utilisées plus efficacement dans les hauts fourneaux pour produire de la fonte.

En perspective, compte tenue de l'influence de la qualité du minerai qui est la matière première essentielle à la réalisation d'un bon agglomérat, il serait plus judicieux de mieux le choisir. Une étude techno-commerciale est recommandée pour acheter du minerai importé et avoir une teneur en fer élevée dans l'agglomérat. Ceci augmentera considérablement la production de fonte, faire améliorer la granulométrie du minerai car les fines de minerai sont riches en fer pour obtenir un agglomérer de très bon qualité adéquate au haut fourneau.

*Références  
bibliographiques*

## *Références bibliographiques*

---

- [1] IZERRADEN Hadjila 'les rejets de l'exploitation du minerai de fer de la mine de boukhadra' Mémoire de Master Université AbdArrahmane Mira, Bejaïa (2019-2020).
- [2] MERABTINE sanna 'Facteurs influençant la consommation du combustible lors de l'agglomération' Mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba.
- [3] Jacques ASTIER. "Agglomération des minerais de fer". Techniques de l'ingénieur. Date de publication : 10 juin 2007.
- [4] Charaf Eddine BOUFERKAS et Karim ANNOUN 'Étude d'impact et réduction des poussières générées par la préparation et l'agglomération de minerai de fer sur l'environnement (caractérisation physico-chimique)' Mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba (2022).
- [5] JONNE YABSLEY, SALES herby. "IRON ORE BRIQUETTING (commonwealth scientific and industrial research organisation, robe river mining company)". Date de publication 02.08.2001.
- [6] Farid Aghilasse MANSOUR. "Caractérisation des Impuretés et Enrichissement Magnétique du Minerai de Fer de Gara Djebilet" Thèse de Doctorat En Génie Minier, université de Badji Mokhtar Annaba (2022).
- [7] Z. ZAROOUR "Agglomération en boulette du minerai de fer de GARA DJBILET". SIDER/DRA. Date de publication décembre 1993.
- [8] Chergui Oussama et Khelifa Med amine 'Les Réactions chimique et les bilans thermique dans le haut fourneau' Mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba.
- [9] Belaouidet khaoula et Benagrouba Halima' Enrichissement du minerai de fer d'Ouenza en vue d'amélioration de la qualité d'aggloméré (complexe sidérurgique EL Hadjar)' Mémoire de Master Université d'AbdArrahmane Mira, Bejaïa.
- [10] O.Benchiheub "théorie et technologie de l'agglomération des minerais de fer". Formation destiné personnel PROCES PMA SIDER EL HADJAR. Date de publication : 2022
- [11] BEGUIRET Lilia 'Etude géologique et géostatistique des minéralisations à Fe – Cu du gisement de DOUAMIS (OUENZA – ALGERIE)' Mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba (Mai 2007).

## *Références bibliographiques*

---

- [12] DJELLOUL Nabila ‘ Influence de la préparation mécanique des minerais de fer sur la qualité des produits d’agglomération (cas El-Hadjar Annaba)’Mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba (2021-2022).
- [13] SAIDANI HICHAM et CHABAT RIADH ‘étude des paramètres influençant le processus d’agglomération :(cas du complexe d’Arcelor Mittal EL HADJAR-Annaba)’ mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba (2015-2016).
- [14] KHAOULA SELLAOUI ‘Mesure et estimation du cycle de chargement et transport dans les conditions de la mine de fer de l’Ouenza’ Mémoire de Master école national supérieur des mines et de la métallurgie, Annaba (2020).
- [15] HEZAIMIA ILYES"Etude des glissements de terrains liés aux travaux miniers souterrains et leur impact sur l'environnement du sol et sous-sol.(Cas de la mine de Boukhadra-Tébessa) "thèse de doctorat en Mines, Université LARBI TEBESSI.TEBESSA
- [16] AOUNALLAH ASMA et ACHOURI HADJER’ traitement des sols supports d’une chaussée souple par des rejets des mines (boukhadra)’ mémoire de master Université Larbi tébessi, Tébessa (2021-2022).
- [17] Daniel Taupin"théorie dynamique de la diffraction des rayons X par les cristaux déformé".Bulletin de la société française de minéralurgie et de cristallographie. Date de publication : 01/02/2019.
- [18] DJEBBAR Med najjib ‘Caractérisation de la qualité des agglomérés d’EL HADJAR’ Mémoire de MasterUniversité de Badji Mokhtar, Annaba (2019-2020).
- [19] ALLAHOUM Nasreddine et HENADA Salma ‘ étude des paramètres influents sur le processus d’agglomération de fer’ Mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba (juin 2013).
- [20] Frédéric SERNA (1), Jean LAGNEAU (1) et Jean-Marc CARPENTIER (1)’’ diffraction des rayons X : une technique puissante pour résoudre certains problèmes industriels et technologiques’’ Centre de Recherches de l’Industrie Belge de la Céramique, Avenue du Gouverneur. Octobre 2014.

## *Références bibliographiques*

---

[21] ADJISSA MASSINISSA "Analyse et caractérisation de minerai de fer de Gara Djebilet ouest (Tindouf \_ Algérie)" Mémoire master 2, Université Abderrahmane Mira de Bejaia 2018-2019.

[22] Grégory Lefèvre''Apport de la spectroscopie infra-rouge in situ à l'étude des réactions de complexation à l'interface solide/solution''Thèse de doctorat de Chimie, Université Pierre et Marie Curie, Paris-Centre (22 septembre 2015).

[23] Jacques de saniot, Dominique Chambellan et Frédéric Plassard "Caractérisation in situ du pigment noir de quelques œuvres pariétales de la Grotte de Rouffignac à l'aide d'un système portable d'analyse par fluorescence X (XRF)". Date de publication : 2005.

[24] YACINE L. I. Boulama Omar 'Effet de l'homogénéisation sur la qualité de l'aggloméré' Mémoire de Master Université de Badji Mokhtar, Annaba (juin 2013).

# *Caractérisation et paramètres influençant sur la qualité d'agglomérat de l'usine sider El-hadjar*

## *Résumé*

L'industrie sidérurgique doit diversifier ses sources de minerai de fer pour assurer la production d'acier. La nature montre que les minerais d'un même gisement ne sont pas uniformes ni homogène.

Les hauts fourneaux nécessitent un produit homogène pour minimiser l'intervention lors de la production de la fonte. Ce produit cohérent qui est l'aggloméré est fabriqué à partir de minerai homogénéisé provenant de multiples mines et sous-produits. Il est donc nécessaire de connaître précisément leur composition chimique et minéralogique avant l'agglomération.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'influence de certains paramètres (granulométrie, humidité, pertes au feu, teneurs en fer et indice d'acidité et de basicité) sur la qualité de l'aggloméré produit par l'unité PMA Sider d'El-Hadjar (Annaba). Cela permet, sur la base des résultats des analyses effectuées sur les matières premières et les agglomérats, de proposer certaines solutions permettant d'améliorer la qualité des agglomérats et d'augmenter la productivité.

**Mots clés :** Sider El Hadjar ; Minerai de fer, Aggloméré, Hauts fourneaux, PMA

## *Abstract*

The steel industry needs to diversify its sources of iron ore to ensure steel production. Nature shows that ores from the same deposit are not uniform. Blast furnaces require a homogeneous product to minimize intervention during cast iron production.

This product, the sinter, is made from homogenized ore from multiple mines and by-products. It is therefore necessary to have precise knowledge of their chemical and mineralogical composition prior to agglomeration.

The aim of this work is to assess the influence of certain parameters (particle size, humidity, losses on ignition, iron content and acidity and basicity index) on the quality of sinter produced by the PMA Sider plant at El-hadjar (Annaba).

Based on the results of analyses carried out on raw materials and agglomerates, certain solutions can be proposed to improve the quality of agglomerates and increase productivity.

**Key words:** Sider El Hadjar, Iron ore, Sinter, Blast furnaces, PMA.