

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة بادي مختار عنابة

Faculté : Sciences De L'ingéniorat  
Département : Métallurgie et Génie Des matériaux  
Domaine : Sciences et Technologie  
Filière : Métallurgie  
Spécialité : Technologie De Fonderie

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

### Thème :

Etude de l'origine du défaut d'incrustation de la poudre de lubrification  
décelé dans les lingots moulés.  
(Aciérie électrique / SIDER EL-HADJAR)

Présenté par : *Rahim Adnan*

Encadrant : *Lemmoui Abdennacer* Gr : Pr *BADJI Mokhtar –Annaba-*

### Jury de Soutenance :

Hadji Ali	Professeur	Badji Mokhtar –Annaba -	Président
Lemmoui Abdennacer	Professeur	Badji Mokhtar –Annaba -	Encadrant
Hacini Mohamed	MCB	Badji Mokhtar –Annaba -	Examineur
Hamani Med Seghir	MCA	Badji Mokhtar –Annaba -	Deuxième examinateur

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents, qui sont la lumière de ma vie.*

*A ma femme qui m'a encouragé tout le long de la formation.*

*Et mes enfants Mohamed Amine, Ranime*

*✚ Aux familles Rahim et bououden*

*✚ Mes amis : Zo, Soufi, Mohamed bondé, Talhi  
Baderddin, Aboud,*

*✚ Mes amis de promotion (2019/2020).*

*✚ Sans oublier Khaled Medjram.*

# Remerciements

*Tout d'abord je remercie ALLAH, tout puissant qui m'a orienté vers la réussite ainsi que mes parents.*

*Je remercie mon encadreur Pr. Lemmoui Abdennacer pour son aide et ses conseils précieux tout au long de la réalisation de ce travail, je tiens aussi à remercier l'ensemble du personnel de l'aciérie électrique-Sider Elhadjar- Pour l'accueil et la bonne ambiance et pour tout l'aide qui m'a été accordée surtout Mr.Benlaribi et Mr Rahmani farid.*

*Sans oublier tous les enseignants du département de métallurgie et génie matériaux de l'université Badji Mokhtar*

*– Annaba –*

## Sommaire

Introduction générale.....	1
INTRODUCTION SUR LE COMPLEXE – SIDER ELHADJAR - .....	2
1- Situation géographique du complexe .....	2
2- Historique du complexe sidérurgique d'EL-HADJAR .....	2
3- Organisme de la production .....	4
4- Produit du complexe .....	5

### Chapitre I : Elaboration de l'acier

I. Processus d'élaboration de l'acier dans le convertisseur .....	6
I.1.Histoire duplexe .....	6
I.2.Les atouts de duplexe .....	6
I.3. Principes généraux .....	6
I.3.1. Chimie de processus primaires.....	6
I.4.Processus primaire.....	7
I.4.1. Désulfuration en poche.....	7
I.4.2.filière fonte (Acier à oxygène) .....	7
I.4.2.1.Description de l'aciérie à oxygène N° 01 .....	7
I.4.2.2. Elaboration de l'acier au niveau de l'aciérie à oxygène N°1 .....	8
I.4.2.3.Principe d'opération .....	9
I.4.3.Filière électrique (Acier électrique) .....	10
I.4.3.1.Principe d'opération .....	10
I.5. Processus secondaire .....	11
I.5.1. Station d'affinage .....	11
I.5.2. La coulée en poche .....	11
I.5.2.1 Le transport .....	11

### Chapitre II : Présentation aciérie électrique

II. Histoire de l'aciérie électrique.....	14
II.1. Premiers développements .....	14
II.2. Avantage des fours électriques .....	14
II.3. Essor moderne de l'aciérie électrique.....	15
II.4. Présentation de l'aciérie électrique .....	15
II.4.1. Clients potentiels.....	16
II.4.2. Organigramme de l'entreprise .....	16

II.4.3. Découpage zonale de l'aciérie électrique.....	18
II.4.4. Processus d'élaboration de l'aciérie électrique.....	19
II.5. Description générales des installations de l'aciérie électrique .....	20
II.5.1. Parc à ferrailles .....	20
II.5.2. Four EBT (DEMAG) .....	20
II.5.2.1. Fonctionnement électrique du four .....	21
II.5.2.2. Principales matières premières du four électrique .....	22
II.5.3. Four à poche .....	23
II.5.3.1. Avantages du four à poche.....	24
II.5.3.2. Barbotage .....	24
II.5.3.3. Configuration du procédé four.....	24
II.5.4. Caractéristiques principales de l'installation LF.....	24
II.5.4.1. Caractéristiques techniques.....	25
II.5.4.2. Système de brassage à l'argon pour four à poche.....	26
II.5.4.3. Cycle de traitement .....	26
II.5.4.4. Description des différentes étapes du processus et de tâches technologiques fondamentales au four à poche .....	27
II.5.5. Machine coulée continue radiale (CCR).....	30
II.5.5.1. Produits de la coulée continue .....	33
II.5.6. Coulée en source (C E S) .....	36
II.5.6.1. Définition .....	36
II.5.6.2. La méthode de réalisation d'un lingot.....	36
II.5.6.3. Gamme opératoire de la coulée en source .....	38
II.5.7. Conditionnement des lingots.....	44
II.6. Présentation schématique des principaux défauts apparus sur les lingots de la coulée en source.....	45
II.7. Nomenclature des défauts .....	46
II.8. Composition chimique de nuances élaborées au niveau de l'ACE.....	47
II.8.1. Qualité des aciers élaborés.....	47
II.9. Généralités sur les défauts des lingots .....	47
II.9.1. Soufflures – Piqûres .....	48
II.9.2. Reprise de coulée .....	48
II.9.3. Double peau .....	49
II.9.4. Criques .....	50
II.9.5. Retassures .....	50
II.9.6. Ségrégation ou hétérogénéité chimique .....	51

II.9.7. Incrustation de la poudre.....	52
II.10. Statistiques et détails sur les défauts d’ACE (sur lingots) .....	52
Conclusion .....	54

### **Chapitre III : Etude expérimentale**

III. Problématique.....	55
III.1. Taux de réparation des lingots 1 <sup>er</sup> trimestre 2020.....	55
III.1.1. Diagramme de Pareto .....	55
III.2. Variation du défaut le plus dominant .....	56
III.3. Aperçu sur le défaut prédominant incrustation de poudre .....	57
III.4. Nature de la poudre lubrifiante utilisée à l’aciérie électrique.....	57
III.5. Les analyses nécessaires pour la caractérisation .....	58
III.5.1. Analyse chimique de poudre .....	58
III.5.1.1. Préparation des échantillons (perle) .....	59
III.5.1.2. Moyens utilisés .....	60
III.5.2. Taux d’humidité .....	60
III.5.2.1. Moyens utilisés .....	61
III.5.3. Le taux de carbone.....	62
Conclusion et recommandations .....	63
Recherches bibliographiques.....	64
Annexes.....	65

## Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique du complexe.....	2
Figure 2 : Organisme de la production de SIDER.....	4
Figure 3 : Convertisseur à oxygène .....	9
Figure 4 : Principe de l'élaboration à oxygène .....	10
Figure 5 : Principe d'élaboration dans un four électrique.....	10
Figure 6 : Poche à acier de l'aciérie électrique.....	11
Figure 7 : Transport de la poche à acier.....	12
Figure 8 : Produit élaboré à l'ACE.....	16
Figure 9 : Organisation ACE .....	17
Figure 10 : Découpage zonale de l'aciérie électrique.....	18
Figure 11 : Processus de l'aciérie électrique.....	19
Figure 12 : Four électrique à arc.....	21
Figure 13: Four à poche-LF-.....	23
Figure 14 : Schéma du principe de la coulée continue .....	30
Figure 15 : Lingotière.....	31
Figure 16 : Refroidissement secondaire simultané de deux billettes.....	32
Figure 17 : Produits de la coulée continue .....	33
Figure 18 : Les brames .....	34
Figure 20 : Les billettes .....	34
Figure 21 : Les blooms.....	35
Figure 22 : Installation coulée en source.....	36
Figure 23 : Principe de la coulée en source.....	37
Figure 24 : Maçonnage plaque B (Ø 410et 500 mm).....	38
Figure 25A : Disposition des briques dans la plaque B (Ø 270et 345 mm).....	39
Figure 25B : Disposition des briques dans la plaque C (Ø 410et 500 mm).....	39

Figure 26: Masselotte Ø 410 et Ø 500mm.....	40
Figure 27 : bac d'étuvage.....	41
Figure 28 : Montage de la mère et la contre plaque .....	41
Figure 29: lingotière prêt à couler .....	42
Figure 30: Opération d'aspiration de la rame.....	42
Figure 31: Opération de démoulage.....	44
Figure 32: Répartition des défauts sur lingot.....	45
Figure 33 : Soufflures – Piqûres.....	48
Figure 34 : Reprise de coulée .....	49
Figure 35 : Double peau.....	49
Figure 36 : Criques .....	50
Figure 37 : Retassures .....	51
Figure 38 : Incrustation de la poudre.....	52
Figure 39 : Evolution de taux de rebut .....	53
Figure 40 : Représentation du diagramme de Pareto.....	56
Figure 41 : Le taux de progression de l'incrustation de poudre.....	56
Figure 42 : Incrustation après réparation lingot bon.....	57
Figure 43 : Incrustation après réparation lingot rebut.....	57
Figure 44 : Etat de la poudre dans la lingotière.....	58
Figure 45 : Spectromètre de fluorescence aux rayons X .....	59



## Liste des tableaux

Tableau 1 : Produit de production .....	5
Tableau 2 : Vitesse d'extraction en fonction de section de transversale.....	32
Tableau 3 : Tolérances admissibles des hauteurs et poids des lingots.....	37
Tableau 4 : Composition chimique brique de source .....	38
Tableau 5 : Calcul de Temps de maintien lingot $\varnothing$ 500mm.....	43
Tableau 6 : Code des défauts.....	46
Tableau 7 : Compositions chimiques des différentes nuances ACE.....	47
Tableau 8 : Taux de rebuts par année .....	53
Tableau 9 : Taux de réparation des lingots.....	55
Tableau 10 : Spécification technique de la poudre.....	57
Tableau 11 : Résultats du taux d'humidité incorporé dans la poudre.....	62
Tableau 12 : Résultats globaux des analyses chimiques.....	63

# **INTRODUCTION GENERALE**

### **Introduction générale :**

Dans l'industrie sidérurgique la coulée en source des lingots est une technique traditionnelle qui se situe entre l'élaboration de l'acier et les conductions de coulée, ce procédé a pris depuis 80 ans, une place de plus en plus importante dans la filière de production en raison des avantages par rapport à d'autres procédés : économie d'énergie et de main d'œuvre à meilleur rendement.

Un des enjeux majeurs de l'industrie sidérurgique est l'élaboration de produits métallurgiques contenant un minimum de défaut et le plus sain possible en termes de qualité. Le mode de coulée et l'étape de solidification conduisent à des défauts de surface se développant à différentes échelles, notamment à l'échelle du produit se développe l'incrustation de poudre dues aux mauvaises qualités de la poudre.

La notion de qualité ne peut pas être séparée de l'emploi et du mode d'utilisation des produits appropriés telle que la poudre de lubrification, masselotte....

La maîtrise de la qualité de surface et de la propreté inclusionnaire des produits de coulée est devenue une nécessité pour d'une part satisfaire les exigences de plus en plus sévères des clients et d'autre part gagner de nouvelles parts de marché, le producteur doit rechercher cette qualité et la fixer comme son objectif principal.

Cette recherche s'inscrit dans le cadre du contrôle qualité des lingots en acier coulée en source.

En effet, au cours de l'obtention des lingots, après le démoulage, apparaît un défaut de l'incrustation de la poudre qui a des incidences néfastes sur le produit fini qui est dans notre cas : les lingots.

Le contrôle à chaud des produits coulés en source a une importance primordiale en raison de la nécessité de faire des contrôles sur les produits appropriés avant l'utilisation.

L'objectif de ce travail consiste à la détermination des facteurs qui favorisent l'apparition de ce défaut.

### **INTRODUCTION SUR LE COMPLEXE – SIDER ELHADJAR -**

#### **1- Situation géographique du complexe :**

Le complexe sidérurgique d'EL-HADJAR est situé à l'Est du pays dans la zone industrielle d'ANNABA. Il est implanté à 15Km au sud de la ville et occupe une superficie de 800ha. La superficie se répartie approximativement en trois zones :

- Les ateliers de la production « 300ha ».
- Les zones de stockage « 300ha ».
- Les surfaces des services « 200ha ».

Il dispose d'une infrastructure ferroviaire d'une longueur de 60Km permettant la libre circulation des matières premières et près de 100Km de route permettant la circulation des engins (autobus, camion, véhicule, légers...).[1]



**Figure 1 : Situation géographique du complexe**

#### **2- Historique du complexe sidérurgique d'EL-HADJAR : [1]**

L'entreprise nationale de sidérurgie a été créée par la société Bônoise de Sidérurgie (SBS) en 1959 suite à la mise en application du plan de Constantine (1950).

Après l'indépendance la sidérurgie a été un secteur d'investissement privilégié par l'Algérie fixait dans ses premières priorités la transformation de son propre minerai et la mise en place de la base de l'industrie, ainsi la société nationale de sidérurgie (SNS) a été créée en 1964 et a hérité du potentiel existant nationalisé.

La SNS a pris sa véritable dimension en 1969 avec la mise en activité du premier haut fourneau du complexe sidérurgique d'EL-HADJAR.

La restructuration de la SNS dans les années 1980 a donné lieu à la création de sept (7) opérateurs publics dans la branche sidérurgie- métallurgie dont l'entreprise SIDER (Sidérurgie de base et distribution des produits sidérurgiques), depuis sa création en 1969 le complexe intégré D'EL-HADJAR a vu son domaine d'activités se développer aux fils des années, afin de répondre à la demande sans Croissante en produits sidérurgique pour la réalisation de plusieurs plans de développement (Unités pétrolières ...etc.).

## Introduction sur le complexe

---

Après la phase de l'implantation de la sidérurgie en Algérie, ce complexe entre dans sa phase finale, celle de l'extension de la capacité de production de 400.000 Tonnes /an à 2.000.000 Tonne/an.

Le souci majeur des responsables qui était la maîtrise de la technologie dans la première a été suivi par la fixation de l'objectif de l'amélioration de la quantité.

Vers l'année 1976, ce complexe comprenait à son actif les secteurs suivants :

- \* Un secteur d'agglomération (PMA)
- \* Un secteur haut fourneau (HF1)
- \* Une aciérie à oxygène (ACO1)
- \* Un laminoir à froid (LAF).
- \* Un laminoir à chaud (LAC).
- \* Un laminoir à fil et rond (LFR).
- \* Une tuberie spirale (TUS).
- \* Un poste de distribution électrique (PDE).
- \* Une gestion stock magasin (GSM).
- \* Des ateliers centraux (ATC).

Pour la deuxième phase de 1977 à 1980 c'est l'extension du complexe, pour augmenter les capacités de production avec cette extension la création d'autres secteurs :

- \* une aciérie à oxygène 2 (ACO2).
- \* Un haut fourneau 2 (HF2).
- \* Un secteur d'agglomération (PMA2).
- \* Une centrale thermique

L'année 1980 marque dans l'histoire du complexe, l'année des grandes réalisations.

L'effectif de cette société est plus de 17.000 employés, qui sont répartis sur différentes sous directions.

On distingue des sous-directions opérationnelles de production, des sous directions prestation de service et des directions fonctionnelles centrales.

- S/D opérationnelle de production :
- S/D matière première et fonte (MPF)
- S/D produits plats (PPL)
- S/D produits longs (PLG)
- S/D tuberie sans soudure (TSS)
- S/D opérationnelle prestation des services
- S/D service technique (STG)
- S/D moyens généraux (MGX)
- S/D fonctionnement centrale
- S/D relations professionnelle du personnel (PRO/PER)
- S/D planification et organisation (PLO)
- S/D méthodes métallurgiques (MTM)
- S/D financier (FIN)

Après la compression du personnel en octobre 1997 ou plus de 10000 travailleurs ont quitté l'entreprise SIDER son effectif aujourd'hui se trouve réduit.

L'entreprise a connu en d'année 1998 une nouvelle mutation suppression des sous directions et création des filiales au nombre de vingt-quatre (24), cette application prend effet à partir de janvier 1999.

Issue de la restructuration de la société national de sidérurgie SNS, l'entreprise (SNS) par abréviation SIDER a été créé par décret (n°83-628) du 05 novembre 1983 et apprêt métal Steele Annaba le 25 juin 2005, et devenir Arcelor métal Annaba le 6 mars 2007, et actuellement SIDER.

### 3- Organisme de la production

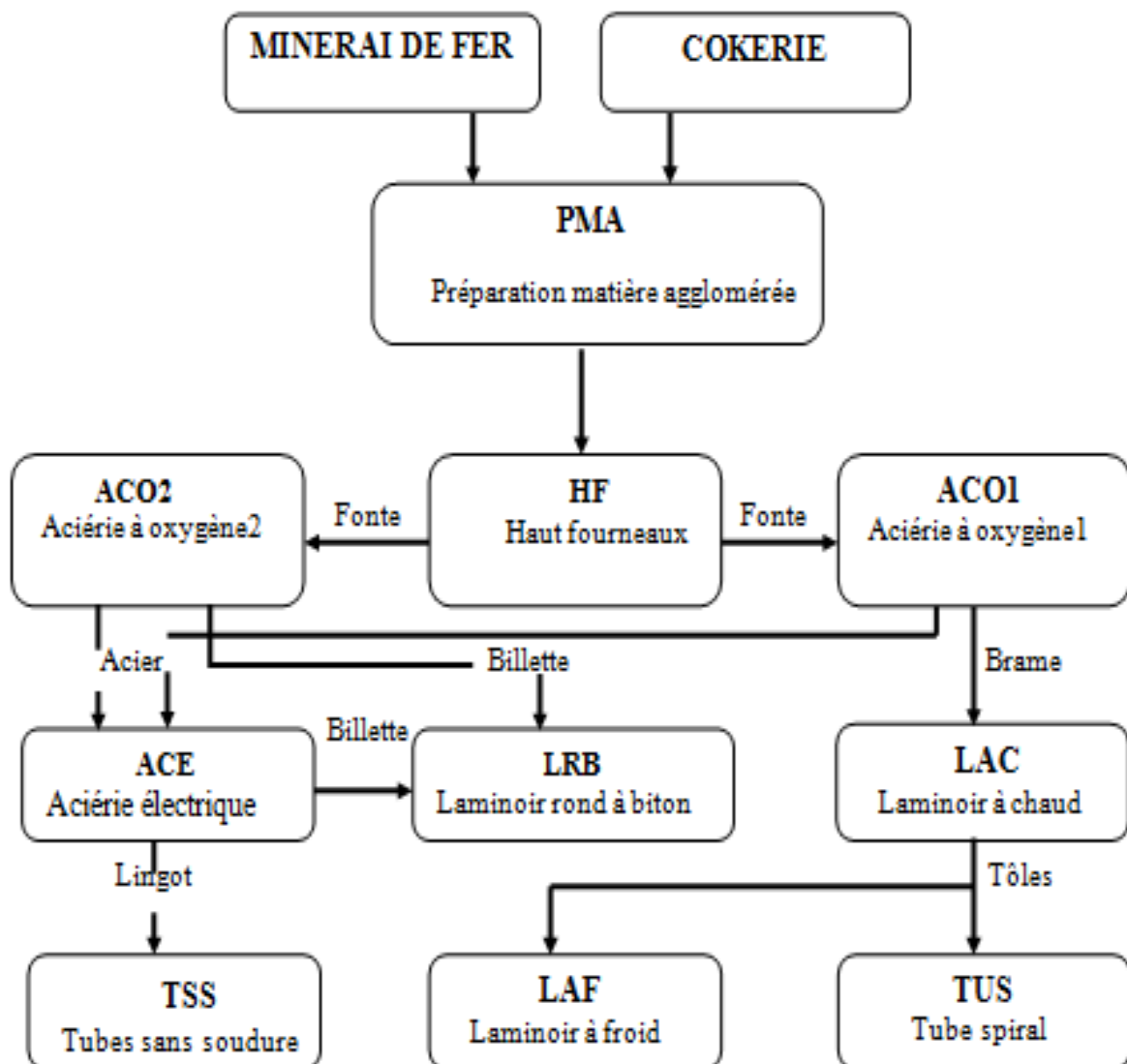


Figure 2: Organisme de la production de SIDER [1]

4- Produit du complexe

Tableau 1 : Produit de production [1]

<b>Installation</b>	<b>Produits</b>	<b>Principaux utilisateurs</b>
Cokerie	Coke	Métallurgie
HF 1 et HF 2	Fonte	Métallurgie
ACO 1	Brames	Industrie de transformation
ACO 2	Billettes	Industrie de transformation
Laminoir à chaud (LAC)	Tôles fortes	Construction métallique chantiers navales tube bouteille à gaz
Laminoir à froid (LAF)	Tôles fines	Electroménager mobilier métallique industrie de transformation
Etamage	Fer blanc	Emballage métallique divers pour les industries alimentaires et chimiques
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiments pour l'agronomie Industrie et élevage
Aciérie électrique (ACE)	Lingots	Recherche et production pétrolière transport des Hydrocarbures
	Billettes	Industrie de transformation
Laminoir à fil rond (LRB)	Fil rond à béton	Bâtiment et travaux publics Hydraulique

**CHAPITRE I**  
**Elaboration de l'acier**  
**dans le convertisseur**



## I. Processus d'élaboration de l'acier dans le convertisseur

### I.1. Histoire duplexe :

Pour la première fois à l'ENS, un acier liquide produit au convertisseur a été affiné au four électrique. Cet essai a été réalisé le 29. 05. 1983 entre l'aciérie à oxygène et l'aciérie électrique. Cette façon de faire porte le nom de " DUPLEX ".

La coulée ainsi réalisée, a été élaborée sans difficulté et le four n'a subi apparemment aucune influence sur les réfractaires.

Il convient de signaler que cet essai a été réalisé sans aucun investissement notable- mis à part le prolongement de la voie ferrée à l'intérieur de l'ACO2

### I.2. Les atouts de duplexe :

La marche en duplex de l'aciérie électrique a été envisagée dans le but de :

- Résoudre partiellement sinon totalement le problème de ferrailles.
- Absorber l'excédent de métal liquide produit par les convertisseurs dans un court et moyen terme
- Augmenter la capacité de production de l'aciérie électrique
- Réduire la consommation en énergie électrique

En effet actuellement, l'ACE souffre d'un manque de matière première (ferraille) ainsi que la difficulté d'alimentation en énergie électrique.

Les convertisseurs sont fiables et leurs productions d'acier ne peuvent être absorbées totalement par la commande, les machines dégagent donc un excédent de métal qui est parfois versé à même le sol, Il serait donc plus judicieux d'envoyer cet excédent de métal à l'ACE en vue de l'affiner. [1]

### I.3. Principes généraux :

Afin d'optimiser le processus globale, l'élaboration de l'acier comprend deux étapes successives :

- Une première étape conduit à l'obtention d'acier brut, encore appelé acier sauvage. Elle est pratiquée :
  - Soit en convertisseur, à partir de la fonte liquide dans les aciéries à l'oxygène.
  - Soit au four électrique, à partir de ferrailles dans les aciéries électriques.
- Une deuxième étape a pour but d'affiner l'acier brut et d'atteindre la composition et la qualité finales désirées. Elle est pratiquée dans une station d'affinage.

#### I.3.1. Chimie de processus primaires :

Le passage du bain liquide initial à l'acier final nécessite une diminution des teneurs de tous les éléments par oxydation partielle selon les réactions suivantes qui sont toutes exothermiques :

**a) Le carbone :** S'élimine sous forme gazeuse et turbulence créée, favorise l'élimination de l'hydrogène et de l'azote présentés dans le métal.

**b) La silice (SiO<sub>2</sub>) :** formée se combine aux oxydes basiques MnO, FeO et à l'oxyde de calcium (CaO) introduit en donnant une scorie qui monte à la surface du bain.

c) **L'oxyde de phosphore** : est réductible par le carbone mais la présence de CaO permet la formation de phosphate de calcium moins réductible. Une bonne déphosphoration exige donc un milieu très oxydant et très basique.

d) **Désoxydation** : La désoxydation et l'opération qui affecte le plus profondément les qualités du métal (densité inclusionnaire, composition de métal, etc.) et donc ses caractéristiques de mise en œuvre (usinabilités, formabilité, résistance à la fatigue, à la rupture et à la corrosion, etc.).

e) **Désulfuration** : La demande croissante d'aciers à très faible teneur en carbone en soufre (pouvant aller jusqu'à 0,001%) a conduit à parfaire l'opération de désulfuration.

Elle met en œuvre des échanges entre le métal et un laitier basique.

L'acier est d'autant meilleur que la désoxydation de l'acier liquide est plus poussée. On peut également injecter du calcium pourrait dans l'acier liquide sous forme de siliciure. L'action du calcium pourrait être due au fort brassage provoqué par sa vaporisation. Le calcium permet également de contrôler la morphologie des inclusions de sulfures présentes dans le produit final. [2]

#### **I.4.Processus primaire :**

##### **I.4.1. Désulfuration en poche:**

A la sortie du haut fourneau, la fonte subite une première désulfuration par la chaux, le carbure de calcium ou magnésium introduits dans la poche – tonneau qui sert à son transfert. Bien que les oxydes de calcium et de magnésium soient plus stables que les sulfures correspondants. Les teneurs en soufre peuvent atteindre 0,01 à 0,02 %. La scorie est éliminée par un décrassage soigné afin d'éviter au soufre d'être réincorporé dans le métal dans l'étape suivante.

##### **I.4.2.filière fonte (Acier à oxygène) :**

Il est obtenu à partir de la fonte liquide dans un convertisseur. Le passage de la fonte à l'acier s'effectue grâce à l'insufflation d'oxygène pur pour éliminer l'excédent de carbone et d'impuretés par brûlage. [3]

###### **I.4.2.1.Description de l'aciérie à oxygène N° 01 :**

L'aciérie à oxygène N° 1 a démarré le 17 mars 1972, dans sa première phase elle était équipée de deux convertisseurs de 55T dont la production était entièrement destinée à être coulée sur les machines à coulée continue verticale.

Dans sa deuxième phase un troisième convertisseur a été rajouté le 08 avril 1980 de capacité de 90T et les deux autres ont été changé de même capacité que le convertisseur N°3, à la même époque, il y a eu une implantation de deux machines de coulée continue radiales.

L'aciérie à oxygène n°1 constitue une partie intégrante du complexe Sidérurgique d'El-Hadjar, Elle est implantée au centre du complexe, elle assure :

- l'alimentation en brames, (1300.000 Tonnes de brames/an).
- l'alimentation en acier pour aciérie électrique (ligne duplexe).

Elle se compose principalement de 4 secteurs :

###### **1) Secteur Ferraille :**

C'est au niveau de ce dernier, que se fait la réception, le stockage et la préparation du lit de fusion du convertisseur, la ferraille utilisée au niveau de l'aciérie N°1 est propre à la SNS ont utilisé aussi la fonte engueuse mais en proportions limites.

**2) Secteur Affinage :**

Le secteur est doté de trois convertisseurs de capacité de 90T, des équipements de chargements.

La plateforme comporte également des trémies de réceptions des matières d'additions, deux pupitres de commande pour le contrôle des opérations diverses, perpendiculairement au secteur d'affinage, sont aménagés trois voies ferrées pour l'évacuation de poches à aciers et des cuivres à scories chaque convertisseur est doté de deux lances, l'une en position de travail, l'autre étant en réserve.

**3) Secteur Réfractaire :**

Sa destination principale est la réparation des poches, des TUNDISHS et le garnissage des quenouilles, par contre la réparation du garnissage des convertisseurs, est effectuée dans le secteur affinage.

**4) Secteur Coulée continue :**

Au niveau de ce secteur, se fait la transformation de l'acier liquide acheminé de la halle des convertisseurs, en brames. Ce secteur comporte des machines à couler continue radiale.

**I.4.2.2. Elaboration de l'acier au niveau de l'aciérie à oxygène N°1:**

Les diverses techniques se distinguent par le mode d'apport de l'oxygène et de brassage du bain, par le bec de la cornue à l'aide de lances refroidies à l'eau dans les procédés LD (Linz Donowitz) et OLP (oxygène lance-poudre). [1]

- **Convertisseur à oxygène LD :**

- Volume spécifique 1 m<sup>3</sup>/t
- Poids 310 t : Ø 6 m h 10,5 m

L'utilisation des convertisseurs LD dans les usines sidérurgiques tend à se généraliser pour remplacer les anciens procédés d'élaboration de l'acier comme BESSEMER, THOMAS-KAIDO.

Ce type de four est moins coûteux aussi bien à l'implantation qu'à l'exploitation.

Le procédé LD peut traiter uniquement des fontes pauvres en phosphore vu le caractère de son garnissage qui est basique les fontes riches en phosphore sont traitées par les procédés dérivés de LD tels que le procédé LDAC.

Se caractérise par rapport aux autres convertisseurs par :

- L'emploi de l'oxygène au lieu de l'air, donc il y a absence d'azote.
- Soufflage à la surface du bain métallique à l'aide d'une lance métallique refroidie à l'eau, La charge est constituée de fonte liquide et de ferrailles et d'une partie de CaO nécessaire.

Le soufflage d'oxygène au cours duquel le silicium s'élimine en premier dure environ 15min, la décarburation et la déphosphoration ainsi qu'une partie de la désulfuration s'opèrent ensuite, le reste de la chaux étant progressivement ajoutée en cours de soufflage le débit d'oxygène va de 500 à 1000 m<sup>3</sup>/min.



**Figure 3 : Convertisseur à oxygène.**

#### **I.4.2.3.Principe d'opération :**

La transformation de la fonte en acier, appelée conversion, se déroule dans un réacteur dans lequel est insufflé de l'oxygène pur à température 1600°C. Le volume du convertisseur est 7 à 12 fois supérieur au volume de métal car au cours de l'élaboration on génère une «émulsion» fer, carbone, oxygène qui remplit tout le convertisseur (cela permet aussi de confiner les éventuelles projections de métal lors du traitement).

Différents types d'injections sont pratiqués :

- Soufflage par le haut grâce à des lances refroidies à l'eau (procédé LD).
- Soufflage par le bas par l'intermédiaire de tuyères comprenant deux tubes coaxiaux (Procédé LWS)
- Soufflage mixte (procédé LBE, LET, K-BOP...).

L'injection d'oxygène permet d'éliminer le carbone, le silicium, le manganèse, le phosphore et le soufre se trouvant initialement dans la fonte par formation d'oxydes du type CO, SiO<sub>2</sub>, MnO. [3]

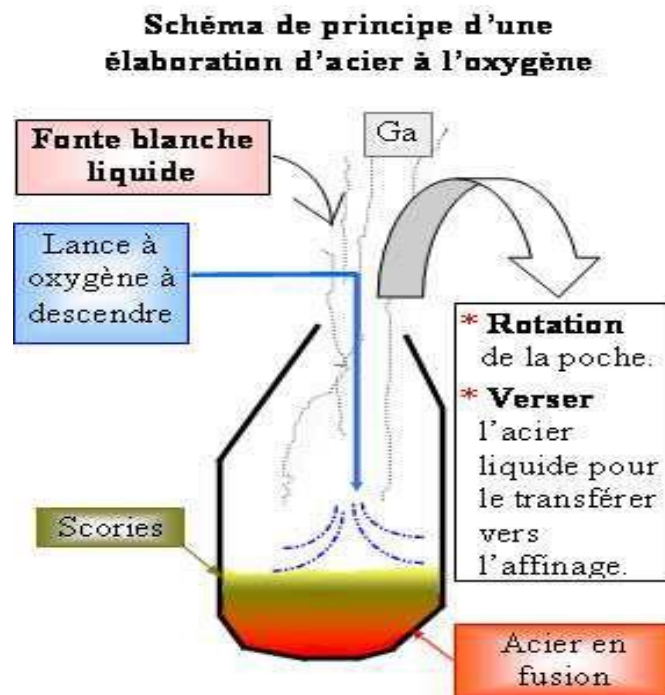


Figure 4 : Principe de l'élaboration à oxygène. [3]

#### I.4.3.Filière électrique (Acier électrique) :

Il est surtout obtenu à partir de ferrailles refondues dans un four électrique. La fusion est obtenue par des arcs électriques. L'opération comporte trois phases : fusion, oxydation, décarburage du bain, puis coulée de l'acier.

##### I.4.3.1.Principe d'opération :

Les électrodes produisent des arcs électriques à l'intérieur du four, ce qui engendre la fusion de la matière. Récupération du laitier et des résidus.

A la sortie du four, on obtient de l'acier sauvage liquide qui est versé dans une poche pour être acheminé vers l'aciérie. [3]

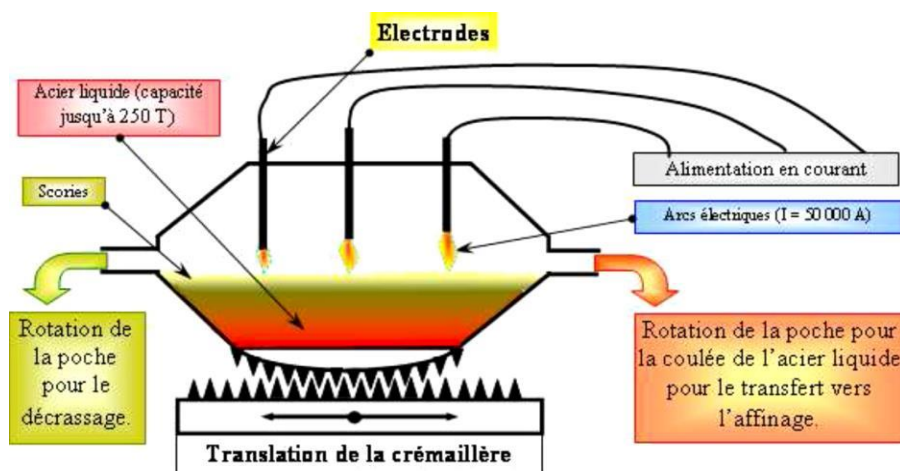


Figure 5 : Principe d'élaboration dans un four électrique.

### I.5. Processus secondaire :

#### I.5.1. Station d'affinage :

Les opérations d'affinage (décarburation) et additions chimiques ont lieu dans un récipient sous vide. L'acier est mis en rotation entre poche et récipient à l'aide de l'argon. L'oxygène permet d'activer la décarburation et d'éliminer le carbone restant sous forme gazeuse (CO<sub>2</sub>).

Lors de la mise à nuance, des composants chimiques sont ajoutés tels que le silicium, le nickel, le manganèse ou le chrome. [3]

#### I.5.2. La coulée en poche :

L'acier après son élaboration dans le convertisseur à oxygène, il est prêt pour être transporté à l'aciérie électrique pour l'affiner le rend plus au moins un acier de qualité.

Il est donc coulé en poche, couvert d'une poudre isolante puis transporté par cette poche jusqu'à l'aciérie électrique.

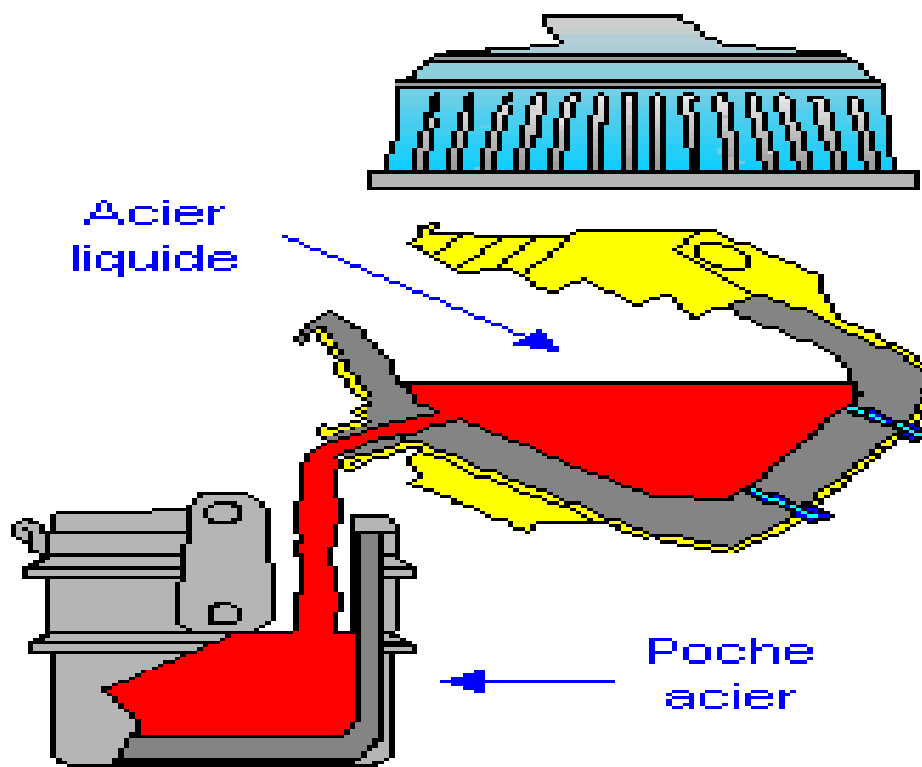


Figure 6 : Poche à acier de l'aciérie électrique

#### I.5.2.1 Le transport :

##### • Moyens matériels :

Le transport de l'acier doit être assuré par un loco, un wagon tampon un chariot de transfert et une poche d'acier laquelle doit être munie d'un couvercle

##### • Mode opératoire :

##### A / Déplacement :

La vitesse de déplacement doit être de l'ordre de 25m/mm



**B/ Les poches :**

Les poches seront maçonnées en magnésie, elles seront protégées par un couvercle garni d'une fine couche de pisé réfractaire, le bec de la poche sera fait de telle façon à permettre la canalisation et l'écoulement du métal.

La garde, c'est à dire la distance entre la poche et la surface de l'acier liquide, sera de l'ordre de 40 cm environ, une poudre de couverture exothermique et isolante devrait être mise sur l'acier.



**Figure 7 : Transport de la poche à acier**

**C/ Métallurgie :** Dans ce qui suit, le duplex sera examiné du point de vue métallurgique

**✓ Demande aciérie électrique :**

L'Acierie Electrique souhaite recevoir au maximum 80 Tonnes d'acier liquide calmé avec les caractéristiques suivantes :

- C de 0,08 à 0,1%, S e t P : le plus bas possible
- Température de l'acier en poche : 1640°C
- Préchauffage poussé de la poche 900°C
- Poudre isolante
- Laitier : épaisseur 10 cm
- **offre aciérie à oxygène N°1 :**
  - L'AC01 peut satisfaire
  - La teneur en manganèse
  - Le calmage à l'Al
  - La quantité de soufre et de phosphate
  - Le préchauffage des poches à 800°C
  - La mise de la poudre de couvertures

- La température entre 1640°C et 1650°C
- Elle ne peut satisfaire :
- L'épaisseur de la couche de laitier
  - **offre aciérie à oxygène N°2 :**
- L'AC02 peut satisfaire pratiquement la demande de l'aciérie électrique
- La teneur en manganèse 0,8
- La quantité 80 T
- Le calmage à Al 0,3 à 0,4 kg/T
- La quantité de soufre ou de phosphore (0,008)
- La température 1640°C à 1650 °C
- Une couche de couverture en poche peut être mise



# **CHAPITRE II**

## **Présentation aciérie électrique**

## II. Histoire de l'aciérie électrique

### II.1. Premiers développements

Un ferrochrome d'une teneur en carbone inférieure à 5%. La fabrication au four à arc rencontre un très grand succès, divisant le cours du ferrochrome par presque trois, et permet le développement des aciers inoxydables.

En 1907, des fours sont construits dans une usine aux États-Unis pour une utilisation industrielle. Les premiers fours à arc électrique ont été mis au point par Paul Héroult, en France, près de Grenoble, qui dépose son premier brevet en 1887, Paul Girod développe le four à arc pour étudier la métallurgie du vanadium et d'autres ferroalliages dès 1898. Dans la vallée de la Romanche, Keller démarre l'électrochimie à partir de 1902.

Le four électrique de Héroult va rapidement s'imposer comme outil incontournable de la fabrication de ferrochrome, en supplantant rapidement le cubilot. Son avantage décisif apparaît lorsque Héroult, en remplaçant le carbone du matériau réfractaire du creuset par de la chromite, parvient à obtenir initialement un « acier électrique » essentiellement destiné à fabriquer des aciers de machine-outil et destinés à fabriquer des ressorts en acier.

Au XIXe siècle, plusieurs personnes ont utilisé un arc électrique pour fondre le fer. Sir Humphry Davy a effectué une démonstration expérimentale en 1810, Pinchon a tenté de construire un four électrothermique en 1853, et en 1878-79, le « stessano electric furnace » est un four à arc tournant (pour mélanger le bain en fusion).

### II.2. Avantage des fours électriques :

Les fours électriques se sont développés en 1908 mais surtout depuis 1950 pour la fusion et le maintien.

Pratiquement tous les types de fours sont envisageables. Ils présentent des avantages spécifiques liés à l'utilisation de l'énergie électrique, propre, facile à mesurer et à réguler.

- Une conduite facile et sûre
- Une main-d'œuvre réduite
- Une conception simple, un entretien peu important
- Une possibilité d'adaptation à toutes les fonderies, quelle que soit leur importance
- Une faible inertie thermique
- Une mise en route rapide
- Un bain homogène
- La possibilité d'élaborer toutes les nuances, quelles que soient leurs compositions
- Une souplesse de marche (le débit des fours peut varier sans perturbations notables de 0 à 100 % de la valeur maximale)
- L'introduction rapide et facile des additions (ferroalliages)
- La possibilité de respecter des fourchettes de composition étroites
- L'absence de pollution du bain par des éléments indésirables
- Des pertes au feu faibles et régulières
- Un réglage de température sûr et précis, même aux températures élevées
- Pas de surchauffe locale

- Une possibilité de marcher avec un décompteur pré réglé de kilowatts et d'utiliser un ordinateur pour marche en contrôle de processus
- Un pesage facile des matières chargées
- Une faible consommation de pisé
- Une amélioration de l'environnement (émission réduite de fumées et de poussières par rapport aux appareils à flamme, meilleure facilité de dépollution)
- Tous ces avantages de la fusion électrique ont une influence favorable sur la qualité
- Et permettent une réduction importante des cycles de traitement thermique.

### II.3. Essor moderne de l'aciérie électrique

Les fours à arcs ont été utilisés lors de la Seconde Guerre mondiale pour la production d'alliages d'acier, mais ce n'est qu'ensuite que la fabrication de l'acier électrique s'est vraiment développé, encouragée par le faible coût d'investissement (environ 140 à 200 dollars par t de capacité installée annuelle, comparativement à 1000 dollars par t pour une aciérie classique).

Actuellement, la filière de production traditionnelle "haut-fourneau - convertisseur à oxygène" s'est de plus en plus cantonnée au marché des "produits plats" - tôle d'acier et plaques d'acier où la pureté chimique des alliages est essentielle, cependant en 1987, **Nucor** a décidé de s'implanter dans le marché des produits plats, toujours en utilisant des fours à arc. [4]

### II.4. Présentation de l'aciérie électrique :

L'aciérie électrique a été conçue initialement pour alimenter la tuberie sans soudure en lingots, cette dernière s'est mise au travail en décembre 1974, les principales installations sont un four classique, une coulée en source à trois voies de coulée et un atelier de conditionnement des lingots.

L'ACE a été modernisé en 1995 par le constructeur SIDER NAVAL – DEMAG, en plus de la production de lingots, l'ACE s'est dotée pour produire des billettes et des blooms :

- Installation d'un four EBT à panneaux refroidis à l'eau.
- 01 four à poche LF.
- 01 coulée continue radiale à 04 lignes à billettes.
- 01 coulée continue horizontale à 02 lignes à blooms.
- La coulée en source et l'atelier de conditionnement ont été maintenues.



**Figure 8 : Produit élaboré à l'ACE**

#### **II.4.1. Clients potentiels :**

Comme toutes les entreprises l'aciérie électrique a ses clients potentiels, et qui sont au centre de ses priorités et leur satisfaction demeure un indicateur pertinent.

- Tuberie sans soudure (TSS).
- Laminoir rond à béton (LRB).
- Laminoir à file rond (LFR).
- Ateliers maintenance magrébins (AMM).
- Export.

#### **II.4.2. Organigramme de l'entreprise :**

L'aciérie électrique est structurée de la manière suivante (Fig. N°9).

Une division appuyée sur plusieurs services qui constituent les principaux processus pour l'atteinte des objectifs.

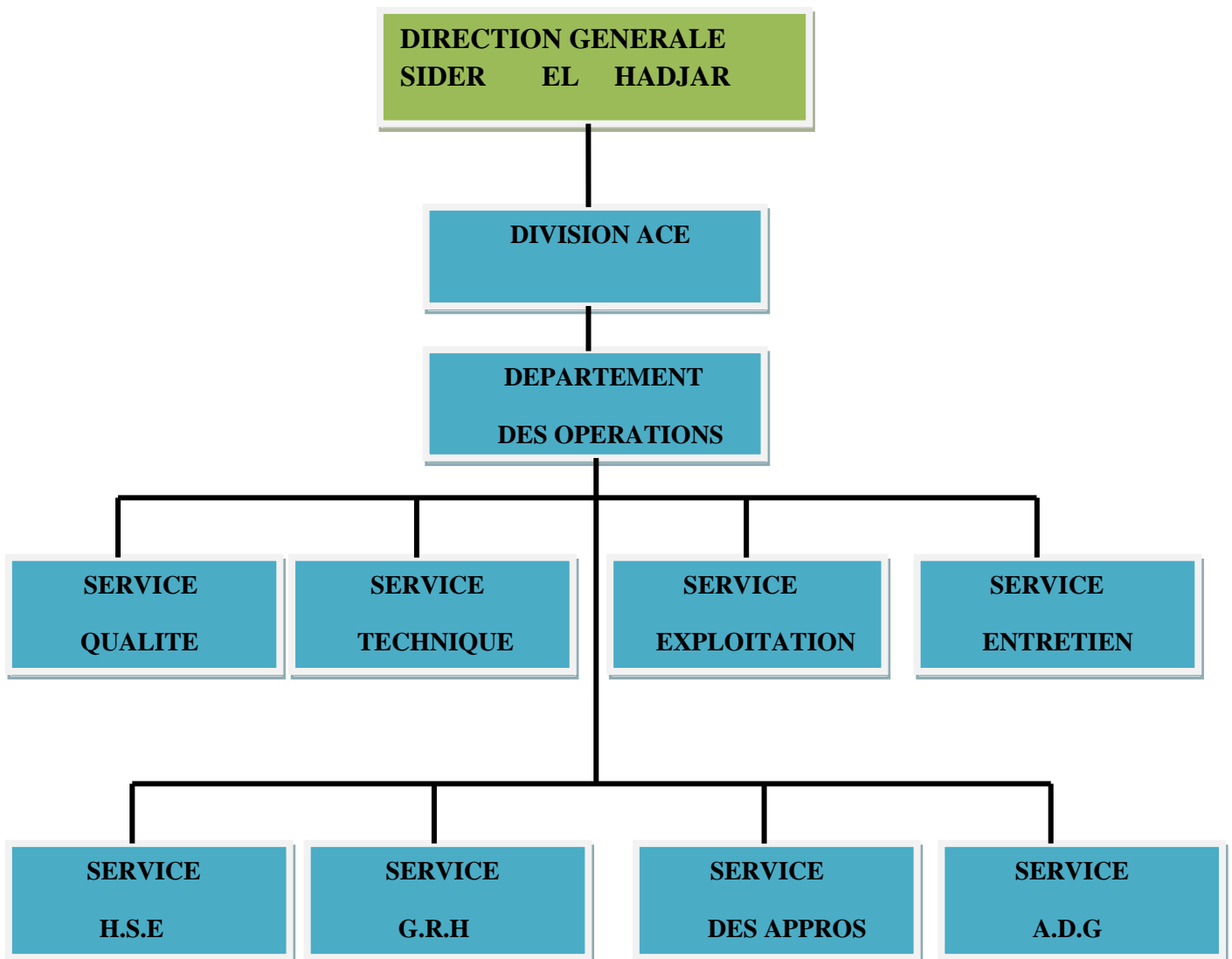


Figure 9 : Organisation ACE

II.4.3. Découpage zonale de l'aciérie électrique

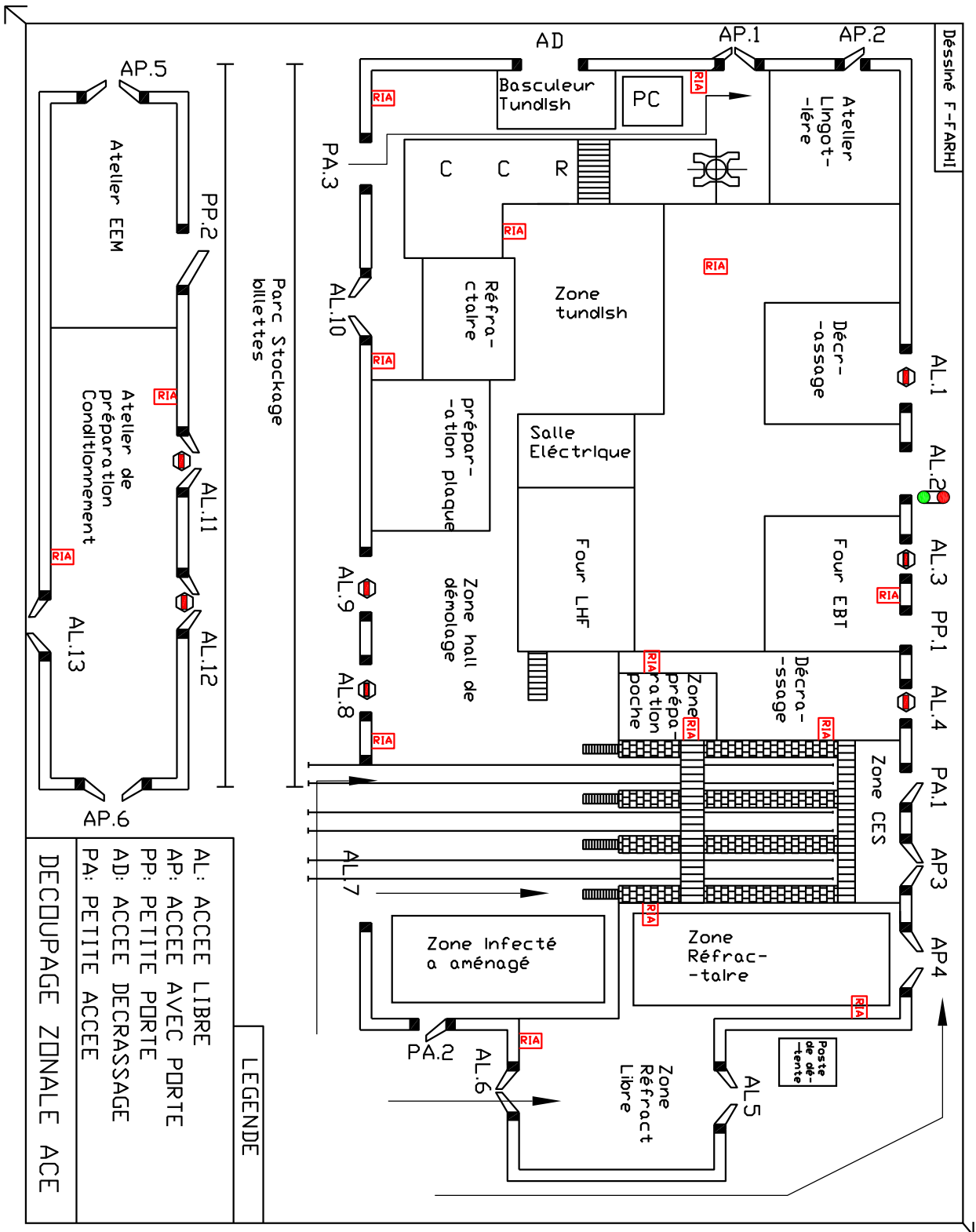


Figure 10 : Découpage zonale de l'aciérie électrique. [5]

## II.4.4. Processus d'élaboration de l'aciérie électrique :

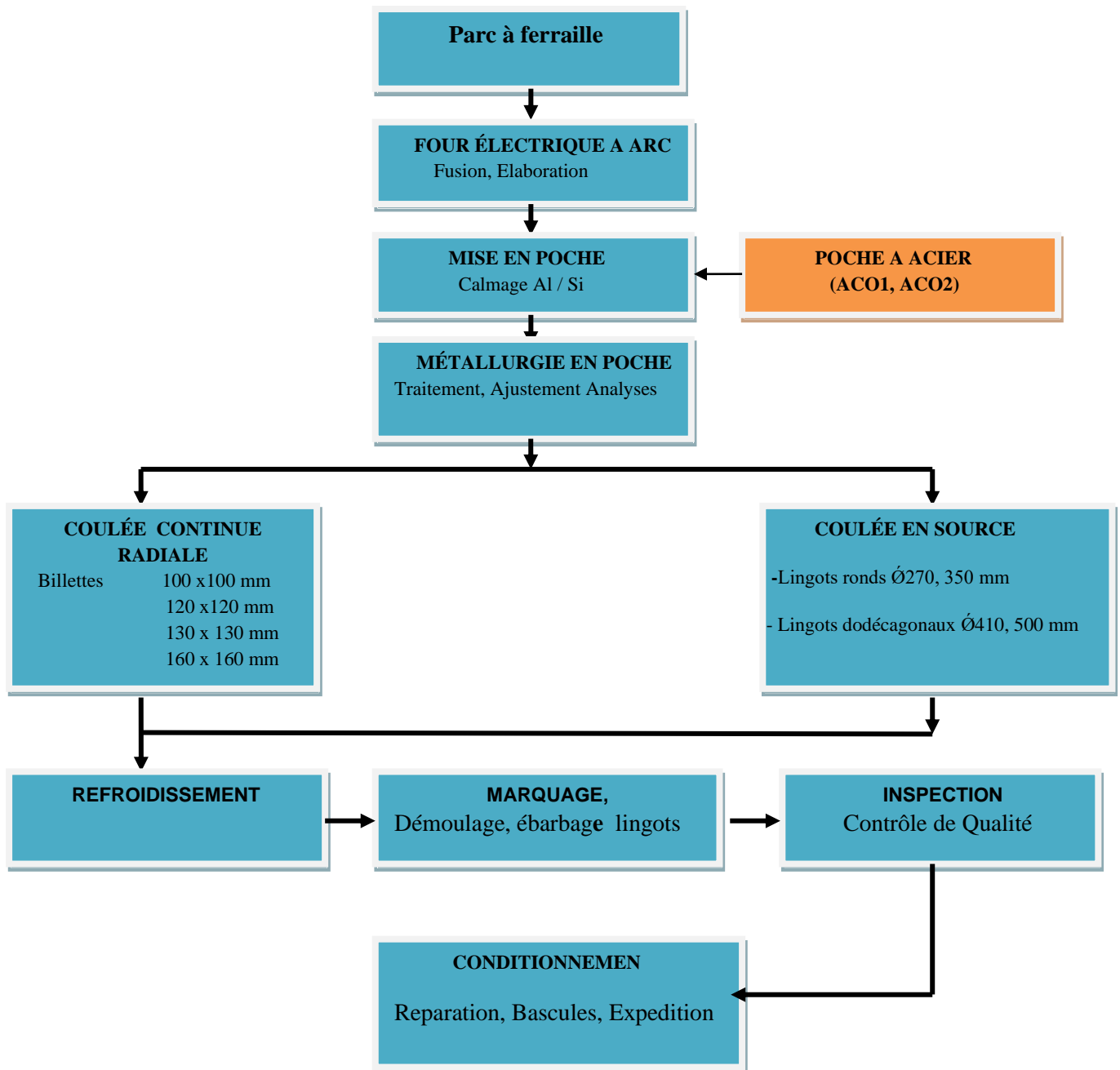


Figure 11 : Processus de l'aciérie électrique

**II.5. Description générales des installations de l'aciérie électrique:****II.5.1. Parc à ferrailles :**

- Capacité : 3500 T.
- Alimentation par camions et wagons.
- Evacuation par wagons.

Il se compose des box pour :

- fontes en gueuse, ferrailles lourdes, légères et moyenne.
- Deux ponts roulants magnétiques,
- Une bascule de pesage et un locotracteur.

La ferraille est préparée dans des paniers qui varient entre 35-45T et qui seront ensuite acheminées vers le four EBT.

**II.5.2. Four EBT (DEMAG) :**

- Capacité maximale : 90 T
- Poids de la coulée : 80 T
- Transformateur : 60 MVA, réduit à 46 MVA
- Cycle moyen : 2h20
- Charges : fonte en gueuse + ferrailles
- Utilisation oxygène : 7,5-8 Nm<sup>3</sup> /T
- Décrassage en scorie : cuvier
- Diamètre des électrodes : 550 mm
- Pieds de bain : 15 T maxi
- Production annuel : 400000 T
- Volume four EBT : 67 m<sup>3</sup>

C'est un four électrique a arcs qui se compose d'une cuve en acier inoxydable, une porte de décrassage, une voute mobile, de 03 électrodes en graphites qui sont supposées par des mats verticaux et des potences horizontales, des tubes omnibus qui amènent le courant a chaque électrodes. La partie supérieure du four est faite de panneaux de refroidissement, le four est refroidis à l'eau adoucie dont les câbles électriques reliant le four au transformateur, la voute, les pinces et les parois.

La partie inférieure du four est la cuve, elle se compose d'une sole de briques, de parois et d'un trou de coulée.

La sole est formée de trois couches de sécurité magnésie une couche épaisse de pisé brique magnésien 86%.

Le trou de coulée dote de cinq viroles et une brique de nid en MgO.

Les briques de parois, constituent ce qui suit : une couche de sécurité en magnésie ordinaire.

Un revêtement d'usure on utilise de la magnésie pour des zones cordant interphases. Et pour les zones de phases Coté électrode, On utilise de la magnésie au carbone 97%. [5]





**Figure 12 : Four électrique à arc**

#### **II.5.2.1. Fonctionnement électrique du four :**

L'énergie électrique est transformée en chaleur par les arcs qui éclatent entre chacune des trois électrodes et la charge métallique. Il y a 63 Kg qui serait transformée l'énergie électrique consommée dans le cas d'une charge entièrement solide est de l'ordre de 500 Kwh/T la puissance apparente du four est donnée par la formule suivante :  $S=U I \sqrt{3}$

D'où :

U : tension entre phases (V).

I : intensité dans chaque phase (A).

En tenant compte du facteur de puissance «  $\cos\beta$  », on obtient la puissance active :

$$P=S \cos\beta \text{ (W)}$$

\* $\cos\beta$  élevée de l'ordre de 0.8 donne à l'arc long à rayonnement élevé, ce qui est favorable à la fusion de ferrailles solides.

\* $\cos\beta$  faible de l'ordre de 0.6 donne un arc court à faible rayonnement mais forte convection, ce qui est favorable à l'échauffement du bain liquide.

Ce sont des fours à résistance, celle-ci étant surtout constituée par le milieu gazeux compris entre l'électrode et la matière à chauffer. Seuls les deux derniers types de fours sont actuellement utilisés, mais les fours à arc sont de beaucoup, les plus importants. On les classe en trois catégories suivant leur mode de fonctionnement.

a. Le courant ne passe pas dans le bain, l'arc jaillit au dessus du bain, le chauffage à lieu par rayonnement, convection et par réverbération sur la voûte.

b. Le courant traverse le bain allant d'une électrode à l'autre, les électrodes étant hors du bain.

c. Le courant amené par une électrode, traverse le bain et sort par la sole conductrice. [6]

### II.5.2.2. Principales matières premières du four électrique

**a. La ferraille :** La charge se compose essentiellement de la ferraille dont la proportion varie jusqu'à 90 %. La ferraille ne doit pas contenir les métaux non ferreux, elle doit être propre (ne contenant pas de la rouille  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), car la rouille contient du H<sub>2</sub>, dont il est difficile de l'éliminer pendant la période de désoxydation.

**b. Fonte en gueuse :** Elle doit être pauvre en phosphore, sa proportion est de 8 % de la charge totale.

**c. Rebus des aciers :** Ils doivent être classés selon leur composition chimique et selon leur utilisation.

**d. Fondants :** On utilise la castine et la chaux qui sont destinées pour former la scorie basique.

- La castine contenant plus de 97 % de  $\text{CaCO}_3$  et de faible quantité de soufre

- La chaux contenant plus de 90 % de  $\text{CaO}$  et de faible quantité de soufre et d'humidité.

**e. Le sable de quartz :** Il est utilisé comme fondant pour former la scorie acide et pour la fluidisation de la scorie basique ou encore utilisé pendant la période de désoxydation.

**f. La chamotte :** Ce sont des déchets de briques réfractaires et spath-fluor ( $\text{CaF}_2$ ), utilisé pour la fluidisation de la scorie.

**g. Le minerai de fer :** Il est employé comme oxydant, il doit contenir peu de soufre et de phosphore. Le plus employé est le  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**h. Les ferro-alliages :** Ils sont employés essentiellement pour la désoxydation et le dosage du bain métallique selon les nuances de l'acier à obtenir.

Les principaux ferro-alliages utilisés sont :

Chargés dans le four :

Fe-Mn (Mn : 76 à 80 %, Fe : 12 à 14 %)

Fe-Si (Si : 10 à 90 %)

Fe-Cr (Cr : 70 %)

Fe-Va (35 à 80 %)

Fe-Ti (35 à 50 %)

- **Dosage de l'acier :**

Si-Al (Si : 30 à 75 %, Al : 20 à 50 %)

Si-Ca (Si : 60 à 64 %, Ca : 34 à 36 %)

Fe-Si (Si : 10 à 90 %)

Fe-W (W : 80 %)

Fe-Mo (Mo : 60 %)

On utilise aussi l'aluminium dans la poche de coulée pour la désoxydation définitive de l'acier et pour régler la grosseur des grains d'austénite (acier de construction).

- **Elaboration :**

Après chargement du premier panier qui varie entre 35-45 tonnes on amorce avec une position de 10-3.7 tension moyenne, arcs courts pour ne pas échauffer exagérément la croûte ensuite la position 12-3.7 durant deux minutes enfin la position supérieure qui est 16-3.7 avec arcs longs jusqu'à la fusion totale. La fusion est accélérée par injection d'oxygène et une fois la température atteint les 1570°C, un prélèvement d'échantillon et avant on effectue un décarburage en décarburant sans courant. Un prélèvement d'un autre échantillon pour confirmation afin de mieux connaître la quantité des additions à ajouter en FeMn, FeSi et suivant les nuances, FeCr, FeV, etc....

On obtient la CaO qui est destinée à la formation de la scorie qui protège l'acier liquide de l'oxydation et absorbe en partie le soufre et le phosphore.

Une fois la température atteint 1630 à 1640 °C c'est la coulée en poche. D'habitude la durée de la fusion dure 1H 30 et le cycle 2H30 à 3H. [6]

### II.5.3. Four à poche :

- transformateur : 12,5 MVA
- Tension primaire nominale : 63KV
- Poids de la coulée : 80 T
- Capacité de chauffage : 3 à 4 °C/min
- Brassage à l'argon par bouchon poreux au fond de la poche
- Voute refroidie à l'eau
- Additions : 08 trémies +chariot de transport par goulotte
- Diamètre des électrodes : 350 mm

Le four poche est installé dans l'aciérie électrique dans le but d'élaborer des aciers de hautes qualités.

C'est en effet dans ce domaine que la mise en œuvre de l'acier apparait profitable, elle permettait de supprimer les longues périodes d'affinage ou four électrique.

Avec le four poche on réalise l'épuration de la fusion, la mise à nuance de l'analyse, l'équilibrage de la température et le réglage de température de coulée souhaite dans la poche et pour vu de briques poreuses et des alliages ainsi que des fondants peuvent être porte dans la poche par l'intermédiaire de trémie installer au four poche.



Figure 13: Four à poche-LF-

### II.5.3.1. Avantages du four à poche

Le procédé d'élaboration dans le four à poche permet :

- Une homogénéisation précise et un ajustement de la température de l'acier.
- Un ajustement précis de la composition de l'acier par addition.
- Une capacité de désulfurer jusqu'à un bas niveau.
- Une possibilité de produire un acier à faible taux d'inclusion.
- Régulariser les cadences de l'aciérie par une fonction (tampon) entre le four et la coulée continue.
- Augmenter la productivité de l'acier.

### II.5.3.2. Barbotage

À l'issue de la coulée en poche, un gaz neutre argon ou azote est insufflé sous une pression de 6 bars à travers un bouchon poreux équipé sur la poche de coulée à fin d'homogénéisateur de la température et l'analyse chimique et de faire décanter le maximum d'inclusions non métallique.

### II.5.3.3. Configuration du procédé four

Dans le domaine de la métallurgie secondaire des types variées de procédés d'affinage ont été développées et mises en œuvre pour concilier les exigences de la qualité et obtenir une productivité et des économies plus importantes.

Le procédé four poche dénommée LF (Ladle-fornace) est utilisée pour l'affinage en milieu réducteur de l'acier liquide.

Le four poche est un procédé de fabrication pour les types d'acier y compris les aciers de haute gamme où l'accent est mis sur l'affinage métal laitier, ce qui veut dire que l'affinage par le laitier telle la désoxydation et la désulfuration sont facilement réalisées dans la poche sous un laitier hautement basique et atmosphère réductrice.

L'acier liquide est brassé dans la poche par bullage pour amorcer les réactions, en réalise ainsi en même temps l'homogénéisation de la température et le contrôle de la composition chimique.

En outre le chauffage arc immergé dans lequel les électrodes en graphites sont plongées dans une couche de laitier liquide permet d'éviter l'érosion des réfractaires due au rayonnement des arcs.

Le procédé LF a ainsi permis non seulement d'améliorer la qualité et régulariser la composition chimique, la température de l'acier et le rendement de l'acier mais aussi d'augmenter la productivité du four EBT qui travaille en principe en direct avec le four LF.

### II.5.4. Caractéristiques principales de l'installation LF

#### • Poche de traitement

Les poches de traitement sont au nombre de 8 poches maçonnées et équipées des accessoires indispensables pour réaliser les traitements nécessaires au niveau LF et assurées par la suite la coulée au niveau de la coulée continue et en sources.

En générale les poches sont constituées de garnissage réfractaire basique de qualité variée selon les zones de sollicitation de l'usure.

❖ Dans le font sont installées :

- Un système de busettes de coulée
- Un bouchon poreux d'insufflation de gaz neutre (argon)

- **Maçonnage de la poche**

- Fond : en brique alumine magnésie carbone (AMC)
- $Al_2O_3$  -77,64%
- MgO 11,29%
- C 6,57%
- Parois en magnésie carbone
- MgO 82,14% C 10,87%
- Le maçonnage des poches se fait dans un stand spécial.
- La brique de MgOC présente une bonne résistance à l'usure.

Actuellement, la combinaison de produits réfractaire la plus fréquente consiste en l'adoption de qualité de brique a haute teneur de l'alumine pour le fond et la parois inferieur et de qualité de brique de magnésie carbone de la zone de laitier et les zones adjacentes .

- **Equipements mécaniques**

L'installation se compose essentiellement d'un couvercle coiffant la poche.

Les outillages sur les couvercles sont :

- Une trémie d'addition a chargement automatique
- Un « SAS » contenant une tige crémaillère sur laquelle peuvent être disposé soit une canne de prise de température, soit un cube de prise d'échantillon
- Un hublot protégé qui permet de contrôler le mouvement du bain
- Une voute en brique réfractaire fixée au couvercle et le protège contre le rayonnement du bain et les projections du métal.
- Trois logements d'électrode coulissent à travers trois passages étanches souples.

- **Travaux préparatoires**

**Echauffement de la poche avant la coulée :**

Il est important de vérifier consciencieusement la poche après chaque coulée avant qu'elle ne retourne au four. Ceci concerne la maçonnerie, le fond la busette de coulée et la brique poreuse.

Il est en outre important de nettoyer le bord de la poche avant l'échauffement de celle-ci. La poche doit avoir une température de circulation d'eau moins 1100°C

**Contrôle de l'équipement :**

Tous les éléments du four poche doivent être vérifiés avant le chargement de la poche suivantes. Ceci concerne la partie électrique, la partie mécanique, le refroidissement par eau et le dépoussiérage.

**II.5.4.1.Caractéristiques techniques**

- Puissance du transformateur : 12,5 MVA
- Tension primaire normale : 30kV +- 5%
- Fréquence : 50 Hz
- Diamètre des poches utilisées : 3020mm
- Poids nominale de coulée : 80 tonnes
- Capacité du chauffage : 3 à 4°C/min
- Diamètre d'électrode 350mm
- **Voute de la poche** : La voute comprend :
  - Une paroi latérale avec l'extrémité supérieure horizontale.
  - Un conduit de fumées



- Une tubulure pour les additions d'alliages, avec clapet de fermeture.

**Caractéristiques techniques de la voute :**

- Diamètre extérieure de la voute 3200mm
- Hauteur : 1190mm
- Diamètre de tubulure d'alliage 350mm
- Poids de la voute 3 tonnes

- **Tubulure pour addition d'alliage**

Elle a été dimensionnée en fonction de cône arrivant aux trémies afin d'éviter un dégagement de gaz ou des poussières. Cette tubulure est munie d'un clapet lequel reste fermer lorsqu'aucune addition n'est effectuée.

**II.5.4.2. Système de brassage à l'argon pour four à poche :**

Au fond de la poche est installée une brique permettant du bain à l'argon celui-ci est acheminé par conduite en un point chariot porte poche où se trouve également le système de mesure et de régulation.

**II.5.4.3. Cycle de traitement**

Actuellement, l'aciérie électrique marche en duplex, en affinant l'acier liquide provenant de l'aciérie à oxygène N°1 et N°2.

Le métal élaboré au convertisseur est basculé dans une poche de traitement avec le minimum de laitier (1%), ce métal a été déphosphoré et décarburé au convertisseur. jusqu'à une teneur compatible selon la demande du client après avoir transférer la poche vers l'ACE pour faire les opérations suivantes :

- Réchauffage à pleine puissance.
- Dissolution et homogénéisation des additions pendant une vingtaine de minutes.
- Prise de température et prise d'éprouvette pour l'analyse.

A partir de là, l'équilibre de la température du garnissage acier étant pratiquement atteint, il est facile de déterminer l'énergie supplémentaire à consommer pour atteindre la température finale désignée, de même à la réception de l'analyse, il est facile de calculer les additions complémentaires pour réaliser la composition finale.

La durée totale du cycle est de 45 à 50 minute, les temps d'inter opération sont des temps de manutention de poche et de rabotage d'électrode, leurs durées sont de 15 à 30 minutes.

A partir d'un métal fondu à la température convenable bien déphosphoré et suffisamment décarburé, on peut obtenir un acier de n'importe quelle composition. Les aditions d'alliage peuvent être mise en une ou plusieurs fois, suivant leur importance et suivant leurs aptitudes à la fusion.

L'importance et la durée de brassage sous atmosphère inerte contribuent à bien désoxyder le métal, l'élimination des inclusions est rapide, la désulfuration est facilement réalisable, soit dans les conditions classiques par les laitier de composition bien étudiée introduit dans la poche au moment voulu, soit par insufflation de produits désulfurant.

- **Durée du traitement dans le four à poche**

Pour des raisons métallurgique, la durée du traitement dans le four poche ne doit pas dépasser les périodes ci après

- Nuance de l'acier à béton et à treillis 25min
- Aciers fins 35min.

- **Traitement de l'acier par le gaz neutre (argon)**

La pratique montre que le traitement de l'acier par l'argon (pas moins de 0,2 m<sup>3</sup>/t) permet de diminuer considérablement la quantité d'oxygène et celle de l'inclusion non métallique.

Le soufflage de l'argon pendant deux à trois minutes permet d'homogénéiser totalement la composition chimique de l'acier.

Le dégazage par l'argon est dû qu'à l'intérieur de la bulle d'argon, la pression de tous les gaz est nulle (P<sub>H2</sub>, P<sub>CO2</sub>, P<sub>N2</sub> = 0) ainsi les gaz dissous dans le métal passent dans les bulles d'argon et s'éliminent avec elle (loi de répartition)

L'élimination totale des gaz dépend de la durée de soufflage de l'argon, de dimensions de ces bulles, de l'interface argon métal Ions.

- **Aspect métallurgique de l'utilisation de l'argon**

Le traitement par le gaz inerte (l'argon) permet l'amélioration des propriétés et de qualités du métal à savoir :

#### **Dégazage**

Le gaz neutre permet la diffusion des gaz dissous dans les bulles de gaz insufflée, favorise la dissolution des gaz à éliminer dans l'atmosphère en contact avec le bain ce qui diminue leurs pressions partielles et augmente l'efficacité de dégazage.

On peut abaisser la teneur en hydrogène, oxygène et azote, on les ramène aux valeurs d'équilibres.

#### **Homogénéisation**

Le brassage du bain engendré par la montée des bulles de gaz améliore les échanges thermique et chimique d'où une meilleure homogénéité de l'acier a tout point de vu.

#### **Propriétés**

Le brassage permet d'accélérer l'élimination des inclusions soit parce qu'il met en mouvement le bain sous le laitier auquel les inclusions non métallique sont liée soit parce que chaque bulle imprime aux particules qu'elle rencontre une certaine quantité de mouvement et les inclusions non métalliques passent successivement vers la surface. [7]

### **II.5.4.4. Description des différentes étapes du processus et de taches technologique fondamentales au four à poche :**

- **Réglage de la température**

Dans le four à poche on utilise comme dans le four à arc électrique des électrodes en graphite pour l'échauffement de la fusion.

On démarre à bas régime et il faut veiller à produire le plus tôt possible un laitier mousseux.

Afin de maintenir les pertes de chaleur les plus faibles possible, l'arc électrique doit constamment brûler dans le laitier. Ceci sert en même temps à éviter une plus grande usure des réfractaires dans la zone de laitier.

Le contrôle de la température dans le four à poche a pour but d'amener l'acier à la température voulue pour la coulée, pour cela la température est surveillée.

La première température est mesurée après le chargement de la poche. Les températures sont contrôlées en fonction de la nuance d'acier à produire, et de la quantité du genre d'addition et de la durée du processus.

- **Mise à la nuance de l'analyse**

La mise à la nuance se fait, en se basant sur les analyses des échantillons pris au cours du traitement. Une éprouvette de contrôle est prélevée après un temps de brassage correspondant

(3 à 5 min) après un calcul adéquat et addition d'alliage. Cette éprouvette de contrôle sert soit à la mise à nuance précis de l'analyse (addition de faible quantité d'alliage ...etc.) ou à démontrer que l'analyse visée est atteinte.

- **Brassage au gaz inerte :**

Grace au brassage au gaz inerte, on obtient d'une part l'homogénéisation de température et de l'analyse chimique, et d'autre part la séparation d'inclusions non métalliques. Le débit de gaz de brassage est réglé par la pression du gaz.

Lors de l'échauffement le débit du gaz est d'environ 100 l/min. lors du brassage lié au degré de pureté, le débit de gaz réduit à environ 70 l/min il s'agit-là de valeurs de références, les valeurs effectivement réglées s'orientent d'après l'impression optique que l'on obtient de la surface de brassage. Les opérateurs décident si l'intensité de brassage est insuffisante ou si elle doit être corrigée.

La pression de brassage est réglable et dépend des points suivants :

Le brassage ne doit être qu'aussi intensif qu'il est absolument nécessaire, pour cela, il faut tenir compte de ce que l'intensité de brassage dépend de la température, pour le brassage lié au degré de pureté à la fin du traitement en poche (sans chauffage) la pression de brassage doit être réglée de telle façon que la tache d'impact ne déchire plus le laitier.

Pour obtenir une efficacité de brassage, la pression de brassage doit être suffisamment élevée pour surmonter la pression ferro-statique de la colonne d'acier, du laitier et de l'atmosphère.

Des infiltrations d'acier ou de laitier pouvant se produire à la brique poreuse, il est conseillé d'avoir un tampon de pression suffisamment grand pour le « brassage de dégagement ».

- **Guidage du laitier**

Pour la mise au point d'un laitier entrant facilement en réaction dans le four poche, il faut respecter les points suivants du côté du four :

- a) Lors de la coulée, très peu de laitier d'affinage doit s'écouler dans la poche.
- b) L'addition de CaO, CaFe doit être réalisée dans des rapports tels pour former un laitier de poche bien basique et pas trop compact.

Les matières ci-après sont nécessaires pour la mise au point du laitier souhaité dans le four à poche :

- Chaux dolomitique
- Pierre à chaux (pour recalage éventuel du laitier).

Ces matières sont chargées à travers une ouverture adéquate dans le couvercle du four à poche. L'état du laitier doit être contrôlé (contrôle optique).

L'atmosphère dans le four à poche est faiblement réductrice, ceci favorise la production de laitier blanc fortement réducteur avec faible teneur en Fe O et MnO.

CaO est le composant principal de tels laitiers.

On tend à obtenir un laitier avec environs 0,5-1% FeO pour obtenir une bonne désoxydation, désulfuration et absorption d'inclusion non métalliques.

Le coefficient de distribution de soufre  $K_g$  est décrit comme suit :

$K_g = \text{Teneur en soufre du laitier (en \% en masse)} / \text{teneur en soufre de l'acier (\% en masse)}$



$$\%(\text{CaO} + \text{MgO})/\%(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) = 1.75/2.11$$

Des laitiers fortement basiques avec faibles teneurs en FeO et en MnO sont nécessaires pour la désulfuration, la désoxydation et la séparation d'inclusions.

La consistance du laitier est très importante pour la cinétique du processus de séparation, il ne doit être ni trop liquide ni trop compact. [7]

#### • Affinage

L'affinage est l'étape de processus du four à arc qui est soumis aux quatre conditions ci après :

- Brassage avec gaz inerte (par exemple argon).
- Travail sous atmosphère faiblement réductrice.
- Travail avec laitier réducteur (dans toute la mesure du possible avec laitier blanc).
- Chauffage électrique avec électrodes protégé.

L'observation de ces quatre points est décisive pour obtenir de bons résultats avec le traitement en poche (assurer une homogénéité constante de la température et de l'analyse).

Grâce au brassage on obtient un contact des phases intimes entre le laitier réducteur et le bain d'acier ce qui est important pour la réduction de la teneur en soufre et en oxygène.

#### • Désoxydation

La désoxydation commence pendant l'addition d'alliage lors de la coulée.

Comme décrit ci-dessus, un laitier clair de bonne viscosité est important pour une bonne désoxydation dans le four poche.

Les conditions pour une bonne désoxydation dans le four poche sont :

- Une durée de traitement suffisante.
- Un laitier basique de bonne viscosité.
- Contact des phases intimes par brassage au gaz inerte.
- Production ciblée de produit de désoxydation liquide se séparant plus facilement.

Pour obtenir de bons résultats il faut veiller à ce que :

**a)** Le brassage doit être contrôlé, il ne doit pas être aussi intensif pour que le laitier puisse être entraîné dans le bain.

**b)** Le laitier doit être contrôlé, la quantité de laitier doit être suffisante et un laitier fortement réducteur doit être produit. Le laitier ne doit pas être trop liquide pour ne pas endommager le garnissage réfractaire de la poche.

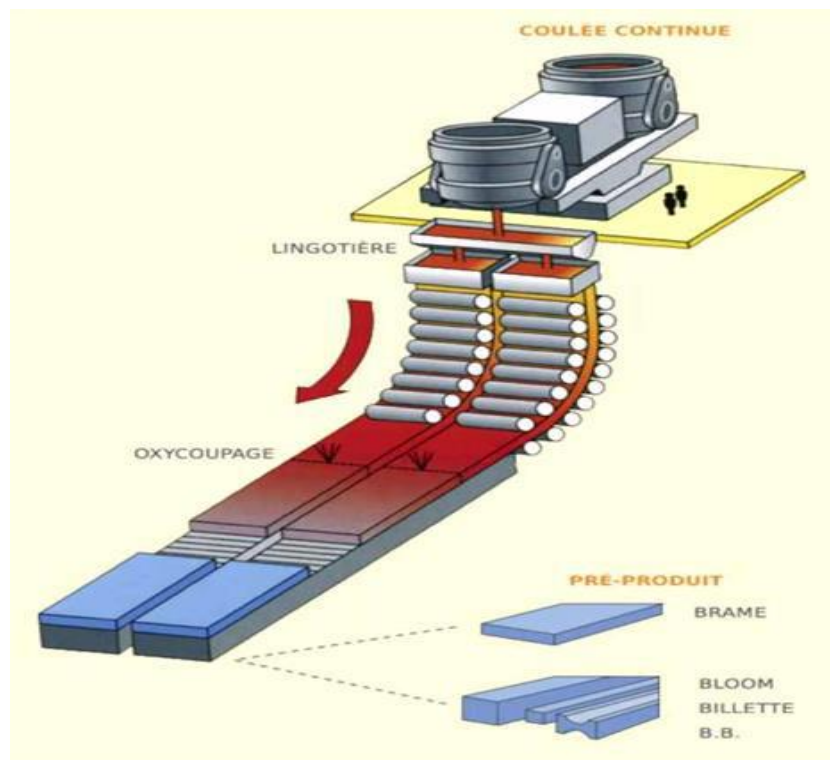
#### • Désulfurations

Les meilleures conditions sont données pour la désulfuration de l'acier dans le four poche. On y trouve, outre le laitier basique avec faible teneur en FeO en MnO le contact des phases intimes acier/laitier déjà décrit également des températures de processus relativement élevées.

L'efficacité de la désulfuration est encore augmentée par l'utilisation de mélanges de désulfurant spéciaux (peux Sulfex, Desulfat). [7]

**II.5.5. Machine coulée continue radiale (CCR)**

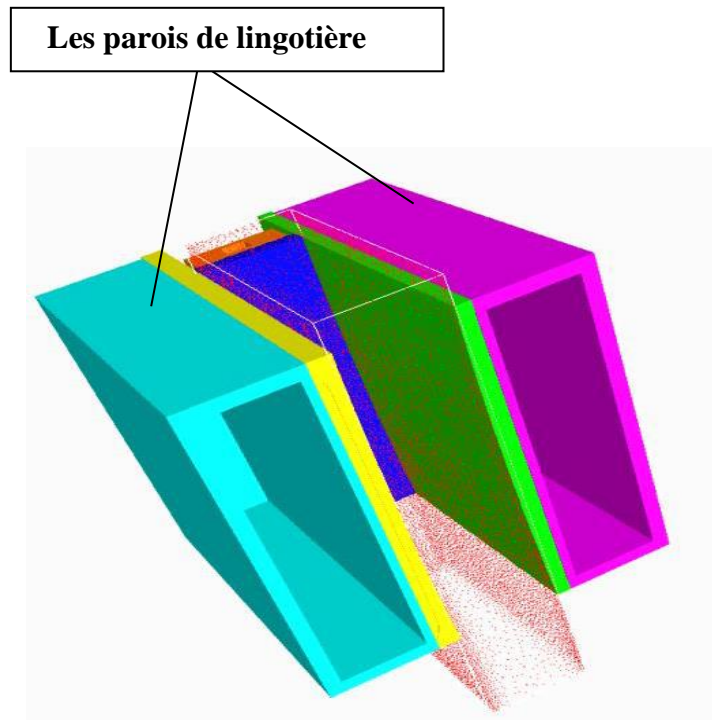
- 04lignes
- Capacité répartiteur : 09T
- Capacité poche à acier : 80T
- Capacité annuelle : 290 000T
- Rayon de courbure : 6m
- Longueur métallurgique : 9m
- Longueur du ménisque à l'oxycoupage : 16,5m
- Section de billettes : 100×100 vitesse de coulée 3,3m/min, 120×120 vitesse de coulée 2,4m/min, 130×130 vitesse de coulée 2,2 m/min, 160×160 vitesse de coulée 1,5m/min
- Régulation de niveau avec source radioactive
- Lingotière curviligne : longueur de tube 700 mm
- Amplitude d'oscillation 40 à 240 bat/min (réglée en fonction de la vitesse de coulée)
- Lubrification automatisée de la lingotière
- Refroidissement secondaire à rampe d'arrosage répartie en 3 zones
- Tronçonnage des billettes par chalumeaux oxycoupeur automatisé
- Entraînement des rouleaux par chaîne.



**Figure 14 : Schéma du principe de la coulée continue. [3]**

La coulée continue est un procédé moderne permettant d'obtenir des demi-produits destinés aux opérations telles que le laminage, le forgeage etc. Une ligne de coulée continue comprend généralement :

**1. Une lingotière en cuivre sans fond** : avec son dispositif de refroidissement et dans laquelle s'effectue la coulée continue du métal liquide. La forme de la lingotière est le plus souvent prismatique ou cylindrique d'une hauteur de 1 à 7 mètres, l'épaisseur des parois peut varier de 15 à 60 mm La lingotière est refroidie énergiquement par un courant d'eau dont le débit massique est égal à 6 fois celui de l'eau coulée. [8]



**Figure 15 : Lingotière.**

**2. Un système de pulvérisation d'eau** : pour refroidir le métal coulé. Ce système se trouve hors lingotière. La solidification immédiate du métal liquide commence lors de son contact avec les parois de la lingotière en formant une gaine présentant une certaine rigidité.

Cette dernière se détache de la paroi, tout en restant à l'intérieur du métal non solidifié.

Afin d'éviter d'éventuels risques de rupture du lingot, l'épaisseur du métal solidifié doit atteindre au moins 20 mm à sa sortie de la lingotière. A ce moment, le jet d'acier est maintenu avec sa forme et ses dimensions initiales grâce à un corset formé d'un ensemble de cylindres entraîneurs. La solidification complète du liquide est assurée par le système de pulvérisation déjà indiqué.



**Figure 16 : Refroidissement secondaire simultané de deux billettes**

**3. Un exemple de cylindres d'entraînement :** permettant l'extraction régulière du métal solidifié. Ce sont des cages comprenant chacune deux rouleaux, l'un fixe définit la direction de la coulée et l'autre mobile, appuyés par des ressorts exercent une pression constante et provoque l'entraînement de l'acier solidifié. La vitesse d'extraction du lingot varie de 0,4 à 10 m/min et elle se détermine suivant la section transversale du lingot, voir le tableau ci-dessous.

**Tableau 2 : Vitesse d'extraction en fonction de section de transversale**

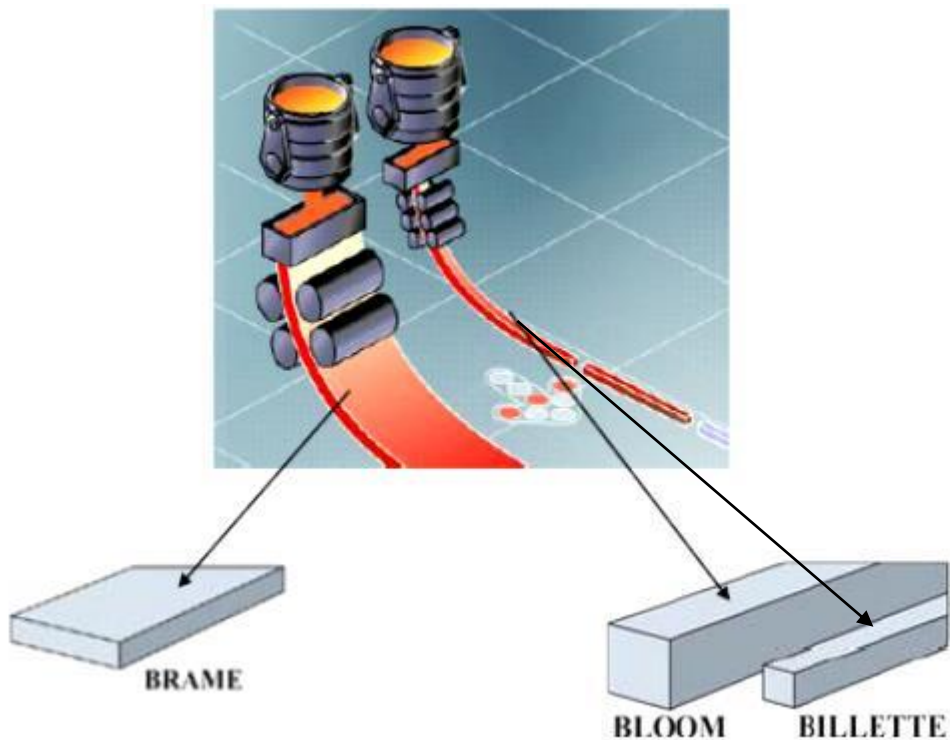
Section transversale (mm)	Vitesse d'extraction (m/min)
50 x 50	7 à 10
100 x 100	1,8 à 3,5
200 x 200	0,9 à 1,5
300 x 300	0,5 à 1,1
(150 à 300) x (500 à 2000)	0,4 à 1,1

**4. Système de cisailage (oxycoupage) :** Permettant de couper les lingots selon la longueur exigée, pour des sections jusqu'à 250 cm<sup>2</sup>, on utilise des cisailles hydrauliques et pour des sections plus grandes on utilise le chalumeau oxyacétylénique ou oxypropane.

Dans certains cas l'utilisation de deux chalumeaux est exigée, la coulée continue est plus économique par rapport aux autres procédés grâce à sa rapidité, à l'économie en main d'œuvre et à la facilité de manutention.

La billette atteignant la T°1100 se désaccouple du mannequin pour être entrainé par les rouleaux extracteurs par friction sous un refroidissement.

La billette est ensuite entraînée par le deuxième rouleau extracteur situé à 1500mm plus loin sur le plan horizontal avec une force de serrage de 10 T et une vitesse de rotation de 2,5m/mn. Enfin de course, la billette atteignant la température 850°C subit un découpage en tronçons par un chalumeau de longueur préréglée 7 m, 10 m, 12 m et 13 m à l'aide d'un équipement de coupe automatique évacués sur un train de rouleau depuis la machine de coulée jusqu'au la halle de refroidissement. Les tronçons de billettes refroidis et regroupées en paquet de 6 unités sont transportés à l'atelier de contrôle et d'inspection. [9]

**II.5.5.1. Produits de la coulée continue :**

**Figure 17 : Produits de la coulée continue.**

**a) La brame :**

Est un demi-produit sidérurgique. C'est la matière première utilisée pour la fabrication des tôles ou des plaques sur les trains de laminaires.

La brame, est une masse d'acier de forme parallélépipédique et de fortes dimensions : d'environ 700 à 2 500 mm de largeur, de 5 à 15 m de long et de 150 à 350 mm d'épaisseur. Son poids peut atteindre plusieurs dizaines de tonnes.

Vers le milieu des années 1980, un développement de la coulée continue, avec la mise au point d'une lingotière de forme complexe, a permis l'apparition des brames minces, qui font de 25 à 80 mm d'épais.

Les brames sont obtenues, soit directement à la coulée continue, soit après réduction d'un lingot dans un train de laminaires dégrossisseur. Les trains de laminaires dégrossisseurs disparaissent aujourd'hui au profit des coulées continues. [10]





**Figure 18 : Les brames.**

**b) La billette :**

Est un demi-produit de l'industrie métallurgique, notamment de la sidérurgie. Son laminage ou extrusion permet d'obtenir des produits longs métalliques de faibles section (fil métalliques, barres, profilés...).

La billette est une masse de métal ressemblant à une grande barre. Sa section est généralement carrée, parfois rectangulaire ou ronde, de dimension supérieure ou égale à 50 mm et inférieure ou égale à 120 mm. Les produits de section plus grande sont des blooms. Sa longueur varie de 5 à 12 m de long.



**Figure 20 : Les billettes.**

**c) Un bloom :**

Est un demi-produit sidérurgique, c'est une barre d'acier de section carrée (exceptionnellement cylindrique ou rectangulaire) supérieure à un carré de 120 mm de côté (160 mm chez certains sidérurgistes, de 310 mm à 600 mm en section cylindrique), de longueur variable, destinée à être engagée dans des trains de laminoirs. Cette barre est laminée pour obtenir des produits longs de section importante : poutrelles, rails...

Initialement coulé en lingot, puis laminé dans un blooming, l'acier produit prenait le nom de bloom, aujourd'hui où les coulées continues sont généralisées, le cycle lingot/blooming a disparu et l'acier liquide est directement coulé en blooms.

Après fabrication, le bloom est stocké en l'état ou relaminé dans la foulée sur un train continu à chaud.

Pour le laminage des fils machines, barres marchandes, profilés ou petites poutrelles, on parle de billettes, qui sont des barres de plus petite section. [9]



**Figure 21 : Les blooms**

## II.5.6. Coulée en source (C E S)

### II.5.6.1. Définition :

La coulée en source est un procédé de solidification permettant d'obtenir des demi-produits lingots destinés aux opérations de formages tels que : laminage, forgeage... etc.

- Capacité annuelle : 110 000 T
- Capacité de poche : 80 T
- Nombres de voies : 03
- Sections des lingotières :  $\varnothing$  270,  $\varnothing$  350,  $\varnothing$  410 et  $\varnothing$  500 mm



**Figure 22 : Installation coulée en source**

### II.5.6.2. La méthode de réalisation d'un lingot:

L'acier liquide est coulé dans les lingotières posées sur une plaque de coulée, elle-même posée sur un car tiré par des chaînes.

Le vidage de l'acier s'effectue au moyen d'un système de fermeture à tiroir qui obture l'orifice par l'extérieur de la poche.

L'acier est coulé dans une mère verticale et conduit vers les lingotières par des canaux en brique réfractaire, noyé dans la plaque de base.

La poudre de lubrification est utilisée dans le but d'éviter le collage de l'acier avec la fonte de la lingotière. En outre elle permet une montée régulière de l'acier sans formation de défaut d'aspect, ainsi elle protège la surface de l'oxydation et du refroidissement après le démoulage des lingots.

En vue d'obtenir une proportion plus grande de métal sans inclusion (amélioration de la mise au mille), on utilise le système de masselottage.

On dispose à la partie supérieure de la lingotière un garnissage isolant de 20mm d'épaisseur et de 200 mm de hauteur pour maintenir le métal liquide à la tête du lingot remplissant ainsi les cavités dues au retrait.



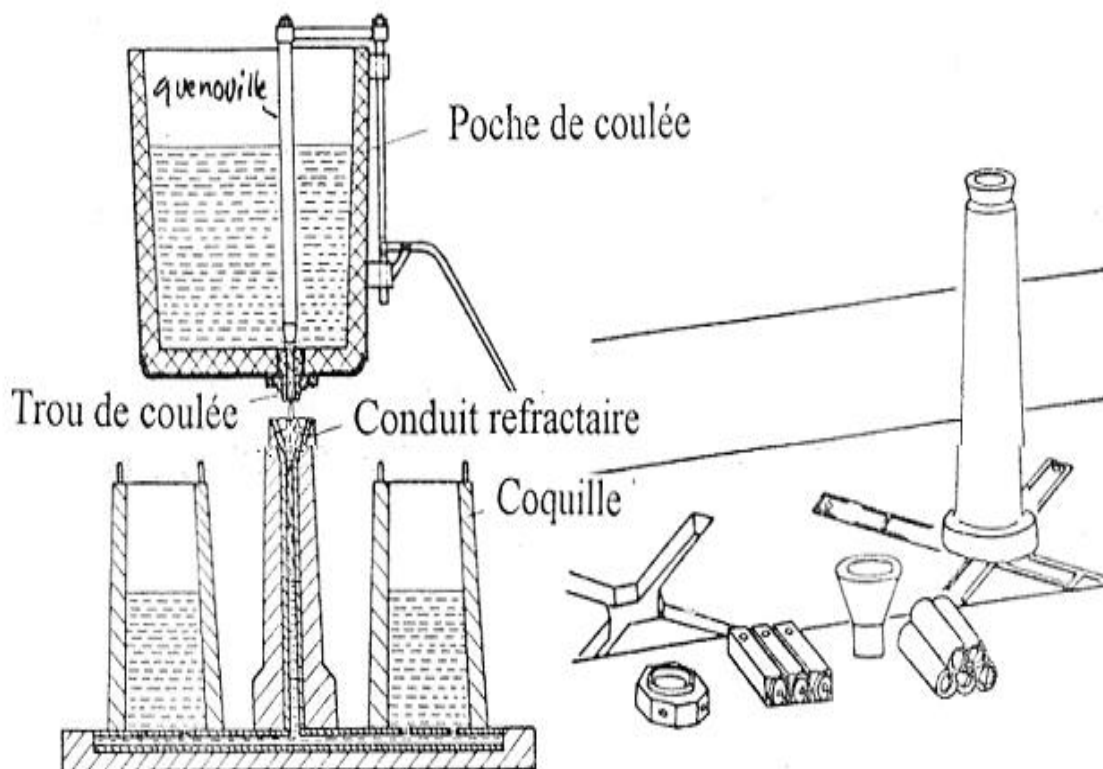
La durée de solidification des lingots est de 30 minutes à 6 heures en fonction de la taille du lingot.

Pour les nuances à haute teneur en carbone et d'éléments d'addition, un refroidissement rapide des lingots peut provoquer des fissures internes ou tapures, dans ce cas on doit augmenter le temps de refroidissement du métal en maintenant les lingots en lingotières pendant plusieurs heures. [10]

Pour satisfaire le programme de fabrication de la tuberie sans soudure l'aciérie électrique dispose dans le tableau ci-dessous certain gamme des lingots :

**Tableau 3 : Tolérances admissibles des hauteurs et poids des lingots**

Section (mm)	P. U. (T)	Hauteur Min (mm)	Hauteur Max (mm)	Poids Min. (T)	Poids Max. (T)
Ø 270	0,752	1760	1900	0,724	0,779
Ø 345	1,020	1377	1491	0,979	1,061
Ø 410	1,450	1571	1709	1,392	1,508
Ø 500	1,940	1344	1456	1,800	1,950



**Figure 23 : Principe de la coulée en source**

**II.5.6.3. Gamme opératoire de la coulée en source : [10]****A. Maçonnage plaques de coulée**

Disposer les repères de briques une par une selon le schéma A ou B afin de rendre la plaque apte à la coulée.



**Figure24: Maçonnage plaque B (Ø 410et 500 mm)**

**Tableau 4: Composition chimique brique de source**

Eléments chimiques	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$
Pourcentage %	36-39	36-39	Max 2	Max 2	Max 2

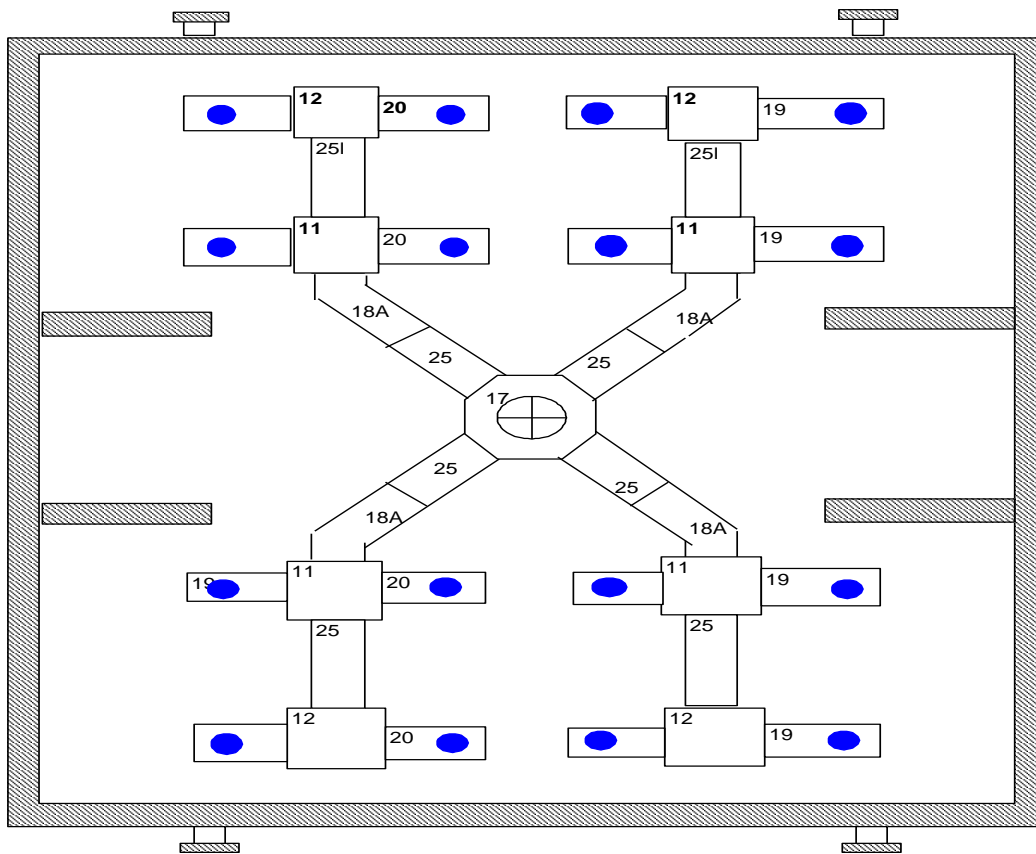


Figure 25A : Disposition des briques dans la plaque B (Ø 270 et 345 mm)

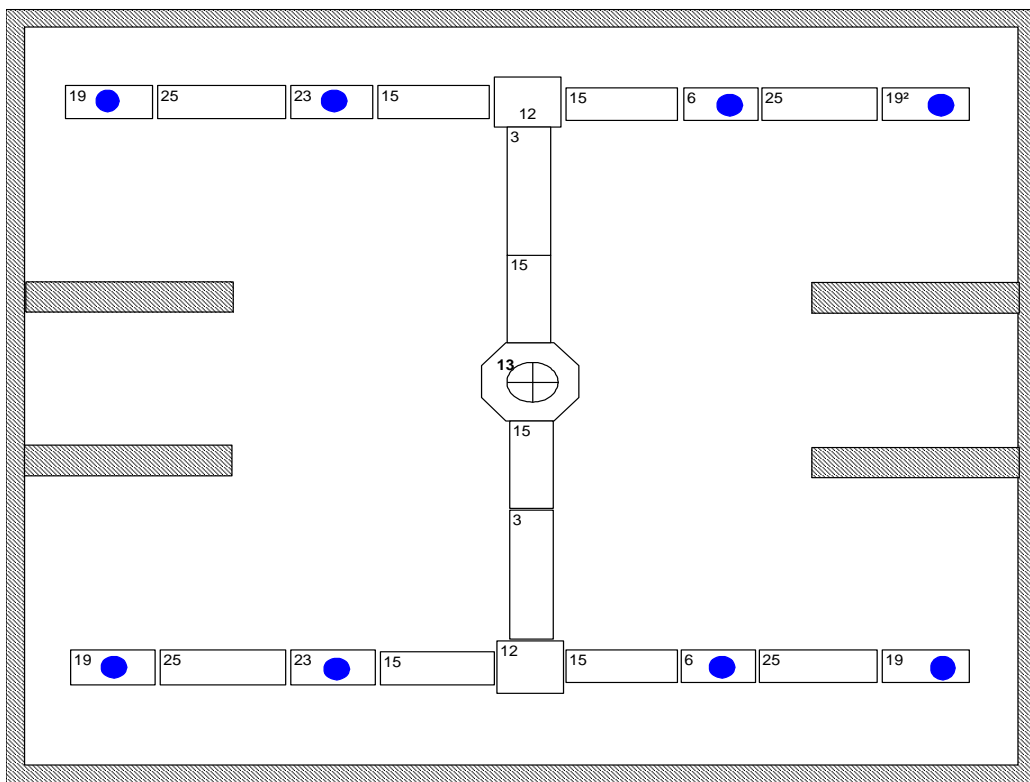


Figure 25B : Disposition des briques dans la plaque C (Ø 410 et 500 mm)

### B. Opérations de soufflage des plaques

- Souffler la surface des plaques puis l'intérieur des canaux à l'aide d'un flexible raccordé à l'air comprimé, la méthode est simple :

On entame le soufflage du centre de la plaque puis on se dirige vers une cote en fermant l'autre cote afin de libérer les canaux du sable et chamotte.

L'opération de soufflage est faite dans le but d'avoir une plaque indemne de résidu du sable et chamotte endurcie.

### C. Montage lingotières

#### Manutention des lingotières

Utilisation de 04 chaînes métalliques avec crochets pour la manutention de la lingotière à l'aide du pont 20t.

### D. Préparation des consommables

#### o Masselotte lingotière

Fixer les deux parties A de la masselotte aux anneaux par le fil de fer selon la hauteur demandée en utilisant un Gabarret ensuite monter les deux parties B de la masselotte en les serrant entre les parties A contre la paroi de la lingotière agissant sur les deux parties du B.



Figure 26: Masselotte Ø 410 et Ø 500mm

#### • Rôle de la masselotte :

La masselotte est une masse de métal placée à la partie supérieure du lingot et qui constitue une réserve de métal liquide. Donc un moule réfractaire est placé au dessus du lingot, afin de maintenir le métal assez longtemps liquide pour remplir convenablement la poche de retassure, la composition chimique de la masselotte : **SiO<sub>2</sub>=85% Mini, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=5% Max**

#### o Poudre de lubrification :

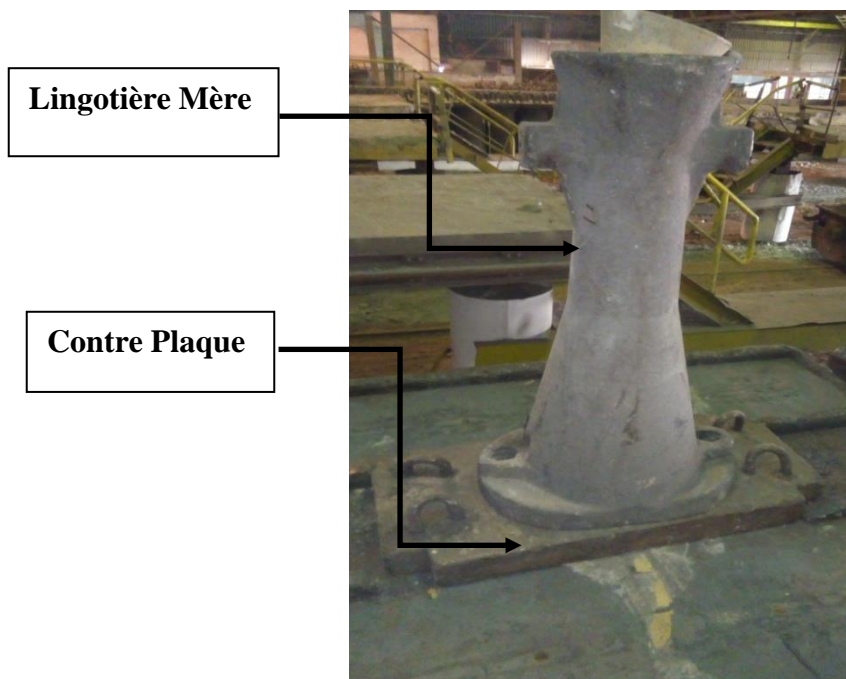
- Transférer les sacs de la poudre vers les bacs de chauffage, dans le but d'éliminer le taux d'humidité.
- La durée de séchage de la poudre est d'environ 6 heures, et avec une température entre 90-110°C.



**Figure 27 : bac d'étuvage**

**E. Montage contre plaque et mère de coulée :**

- Transférer les plaques successivement au bassin de coulée selon le programme demandé.
- Poser la contre plaque et la mère de coulée à l'aide du pont 40 t.
- Maçonnage de 5 viroles en chamotte.
- Montage bac avarie.
- Sablage de la lingotière mère.



**Figure 28 : Montage de la mère et la contre plaque**

**F. Montage lingotières :**

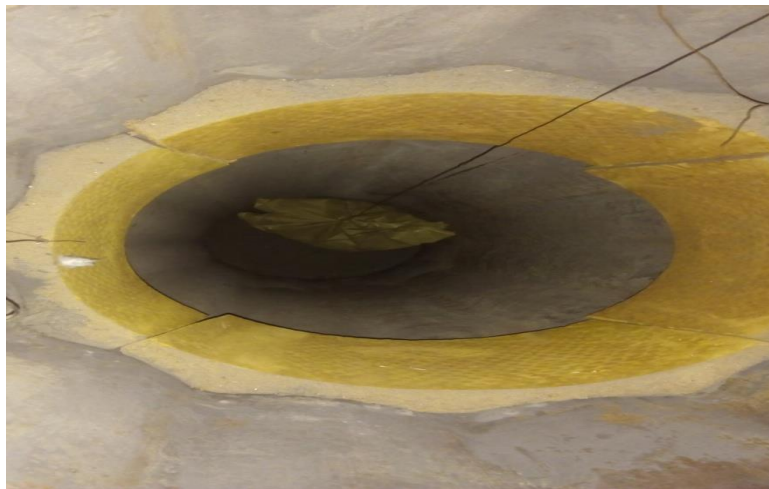
- Soufflage des lingotières (l'extérieur et l'intérieur) lors de la manutention à l'aide de l'air comprimé.



- Transférer la lingotière de la grille vers les plaques.
  - Bien positionner dans le sens de la coulée.
- Même opération jusqu'au montage complet de la rame.

#### **G. Préparation consommables lingotières :**

- Préparer la masselotte.
- Préparer la baguette
- Mettre la poudre de lubrification dans la lingotière vers le bas avec une hauteur de 150 mm.
- Préparer le matériel de coulée.
- Préparer les tubes de Bouchage des lingotières.
- Mettre en place le flexible d'O<sub>2</sub> et préparer la lance à oxygène.



**Figure 29: lingotière prêt à couler**

#### **H. Aspiration de la rame :**

- Introduire le tube d'aspiration à l'intérieur de la lingotière mère pour chaque plaque de la rame.
- Raccorder le flexible d'air comprimé au tube et faire l'aspiration des parties internes de toutes les plaques.
- Introduire le tube d'aspiration dans chaque lingotière puis aspirer la poussière du fond et du canal de la lingotière.



**Figure 30: Opération d'aspiration de la rame**

**I. Réception de la poche :**

- Réceptionner la poche pleine, traitée et posée sur le chariot de coulée CES par le pont 125t.
- Mettre en place le vérin hydraulique au sein de la lanterne du tiroir poche puis verrouiller par la clavette en s'assurant de son emboîtement.
- Calculer le tonnage plein de la poche.
- Positionner la poche sur le bac avarie.

**J. Réalisation de la coulée :**

- Actionner la manette jaune en appuyant sur le bouton d'ouverture et ouvrir à plein jet entre 10 à 20 secondes (**2.7T/mn**).
- Utiliser l'O2 pour le non ouverture de la busette du tiroir.
- Positionner la busette tiroir à quelques centimètres de l'entonnoir.
- Régler le jet de métal en diminuant (**1.5T/mn**).
- Ralentir le jet de métal à quelques centimètres de la masselotte avant la fin de coulée.
- Arrêter à la hauteur demandée en utilisant la jauge.
- Ajouter la poudre exotherme selon le poids des lingots.
- Faire entre 3 et 5 renourrissage.

**K. Maintien au refroidissement**

- Maintenir la rame selon l'instruction de coulée.
- Entraîner la rame à l'aide du chariot de la coulée en source en accrochant la chaîne suspendue vers la zone du pont 20t (le maintien en refroidissement selon l'instruction).
- Calculer le temps de maintien au refroidissement selon la méthode de CHVORINOV'S :  $T=C (V/A)^2$ . Exemple diamètre lingot 500mm.

**Tableau 5: Calcul de Temps de maintien lingot  $\phi$  500mm. [5]**

	Données	Résultats
Rayon	R	250mm
Pi	$\Pi$	3,14
Hauteur	H	1900 mm
Surface = $2\pi r^2 + 2\pi rh$	A	3375500 mm <sup>2</sup>
Volume = $\pi r^2 h$	V	37287500 mm <sup>3</sup>
Constante	C	0,026
<b>Temps de refroidissement</b>	<b>T</b>	<b>317min= 5h17min</b>
	$(V/A)^2$	12202,54191mm <sup>2</sup>

**L. Démoulage :**

- Accrocher 04 lingotières en parallèle avec les chaînes du pont 20t et les déplacer vers la grille de refroidissement.
- Faire appliquer l'opération pour le reste des cars.
- Evacuer les cars de coulée vers la zone du pont 40T à l'aide du chargeur.



**Figure 31: Opération de démoulage**

**M. Ebarbage :**

- **Nettoyage des pieds lingots :** éliminer les incrustations des réfractaires à l'aide d'un marteau piqueur.
- **Ebarbage des lingots :** éliminer les queues et les bavures à l'aide du chalumeau G2
- **Nettoyage des bavures de la masselotte :** couper les 04 parties de bavures qui se trouvent sur l'alentour de la masselotte.

**II.5.7. Conditionnement des lingots :**

Dans cet atelier on détecte visuellement les défauts de longueur et de qualité ensuite on procède à la réparation pour éliminer les défauts de surface en utilisant la meule à une certaine profondeur ainsi que le chalumeau pour les soufflures, les défauts qui n'ont pas de remède tel que la robotité et les tiges de botte seront rebrulés, les lingots conformes seront expédiés vers les clients, Les billettes conformes seront également expédiées sous formes de bottes contenant 6 à 8 billettes.

- **Inspectés :** Après démoulage, les lingots comportent parfois des défauts d'aspect dont les principaux sont : inclusions de réfractaires, criques, soufflures ...ces défauts sont susceptibles de provoquer des défauts sur tubes, il est important de les réparer de façon à ce que l'aspect intérieur de tube soit aussi satisfaisant que possible.
- **Réparés :** la réparation est effectuée au chalumeau pour les aciers au carbone dont la résistance est inférieure à  $60 \text{ Kg/mm}^2$  et à la meule pour les autres types d'acier.



- **Basculés** : le poids des lingots peut être déterminé à partir de leurs dimensions ou par pesée sur une bascule une fois nettoyée des défauts préjudiciables. [10]

## II.6. Présentation schématique des principaux défauts apparus sur les lingots de la coulée en source :

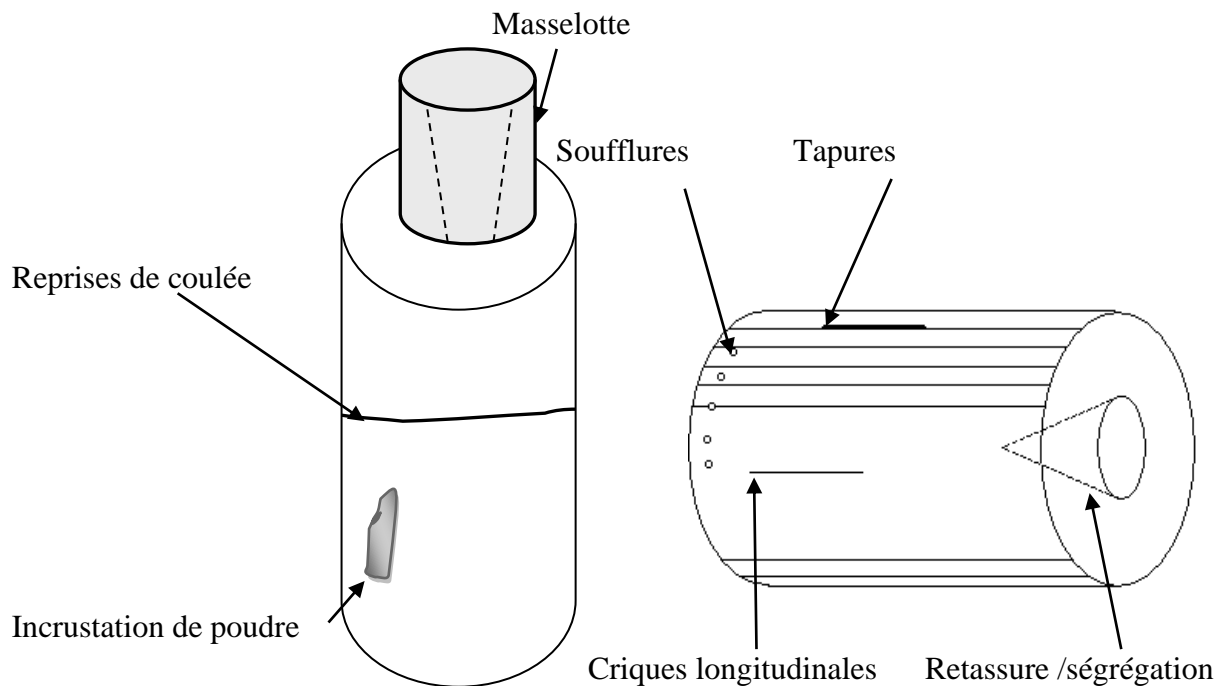


Figure 32: Répartition des défauts sur lingot. [10]

## II.7. Nomenclature des défauts :

Tableau 6 : Code des défauts. [10]

CODE DEFAULT	APPELLATION
1	Inclusions non métalliques
2	Soufflures / Piqûres
3	Gouttes froides
4	Criques longitudinales
5	Tapures
6	Reprises de coulée
7	Rides / Ailettes
8	Défaut de lingotière
9	Croûtes noyées / Dartres
10	Tête remontée / Tige de botte
11	Eraflures / Blessures
12	Retassure / Ségrégation
13	Masselotte
14	Incrustation de la poudre
15	Double peau
16	Hauteur lingot non conforme

## II.8. Composition chimique de nuances élaborées au niveau de l'ACE : [10]

Tableau 07: Compositions chimiques des différentes nuances ACE

ACIERS	ELEMENTS CHIMIQUES													
	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Mo	% V	% Nb	% Al	% Cu	% Sn	% Ni	% Ti
42 G	0,12	0,70	0,10	<	<	<	<	<	-	<	<	<	<	<
	0,17	0,90	0,20	0,020	0,020	0,125	0,050	0,025	-	0,040	0,250	0,035	0,050	0,040
42 G3	0,14	0,70	0,10	<	<	<	<	<	-	<	<	<	<	<
	0,18	0,90	0,20	0,015	0,015	0,125	0,050	0,025	-	0,040	0,250	0,035	0,050	0,040
42 L 3	0,14	0,90	0,15	≤	≤	≤	≤	≤	-	0,015	≤	≤	≤	≤
	0,18	1,10	0,25	0,019	0,014	0,050	0,050	0,03	-	0,040	0,060	0,035	0,030	0,030
52 L	0,14	1,15	0,15	≤	≤	≤	≤	0,040	0,030	≤	Max	≤	≤	≤
	0,18	1,25	0,30	0,025	0,015	0,030	0,025	0,060	0,060	0,040	0,080	0,035	0,050	0,040
52 A5	0,14	1,30	0,20	≤	≤	≤	≤	≤	≤	0,018	Max	≤	≤	≤
	0,16	1,36	0,30	0,024	0,014	0,050	0,050	0,025	0,010	0,040	0,080	0,010	0,050	0,039
55 F	0,35	1,20	0,30	≤	≤	≤	≤	≤	≤	≤	Max	≤	≤	≤
	0,30	1,40	0,40	0,025	0,025	0,200	0,050	0,025	0,010	0,040	0,200	0,035	0,050	0,040
52 E-2	0,10	1,25	0,17	≤	≤	≤	≤	0,040	0,025	0,020	≤	≤	≤	
	0,13	1,35	0,25	0,020	0,012	0,200	0,100	0,060	0,045	0,030	0,200	0,020	0,200	
80 A2	0,21	0,75	0,15	Max	Max	0,180	0,080	≤	-	0,020	Max	-	Max	0,025
	0,26	1,10	0,30	0,025	0,010	0,200	0,300	0,025	-	0,040	0,250	-	0,250	0,060
60 A	0,17	1,15	0,20	≤	≤	≤	≤	≤	0,030	0,015	≤	-	≤	≤
	0,20	1,25	0,40	0,015	0,015	0,050	0,100	0,020	0,050	0,060	0,080	-	0,050	0,030
110 F	0,25	1,30	0,20	≤	≤	0,400	Max	-	-	≤	≤	≤	Max	0,025
	0,29	1,60	0,35	0,025	0,020	0,900	0,150	-	-	0,040	0,250	0,035	0,250	0,060

## II.8.1. Qualité des aciers élaborés :

La gamme d'acier élaborée au niveau de l'ACE est conforme à la norme EN 10149.2 - 1995. Ce type d'acier est appelé acier à haute limite d'élasticité (HLE). Ces derniers se caractérisent par une faible teneur en carbone et en éléments d'alliage, ce qui leur confère d'excellentes propriétés fonctionnelles telles que l'aptitude au formage à froid, profilage, soudage ou au revêtement, leur durcissement obtenu par précipitation et affinement de la taille des grains permet d'atteindre de hauts niveaux de résistances mécaniques.

Leurs caractéristiques mécaniques facilitent le formage sur presses et sur lignes automatisées. Ils se caractérisent de plus par une bonne tenue à la fatigue et à la résistance au choc, grâce à leur limite élastique élevée ( $R_e$ ), ils sont particulièrement adaptés lorsqu'une réduction de poids, c'est pourquoi ces aciers s'utilisent fréquemment en remplacement des aciers de construction. [11]

## II.9. Généralités sur les défauts des lingots :

Après solidification, les lingots d'acier présentent plusieurs défauts tels que : soufflures, retassures, ségrégation, reprise de coulée, criques, double peau, et incrustation de poudre. [12]

### II.9.1. Soufflures – Piqûres

#### A/-Aspect :

**Soufflures :** Cavités gazeuses localisées sur la peau des lingots à priori aléatoire, qui peuvent atteindre plusieurs millimètres de diamètre.

**Piqûres :** sont en principe plus petites que les soufflures en diamètre, leurs profondeurs sont de quelques centimètres, localisées généralement au pied de lingot.

Le terme soufflure est communément attribué aux défauts liés à un manque de calmage de l'acier et le terme piqûre du à une humidité excessive du matériel de coulée.

#### B/-Origine :

- Causes inhérentes au métal
- Défaut de calmage
- Gaz dissous au cours de l'élaboration (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)
- Surchauffe très importante
- Causes inhérentes à la coulée
- Humidité des parois de la lingotière
- Humidité de la poudre
- Humidité de plaques de coulée

#### C/-Réparation possible

En fonction de l'importance des défauts, les zones touchées des lingots seront chutées ou meulées.



Figure 33 : Soufflures – Piqûres

### II.9.2. Reprise de coulée

#### A/Aspect :

Ligne transversale sur le pourtour du lingot sur une section de quelques centimètres du 1 à 3 cm, la répartition dans une section du produit en peau.

#### B/Origine :

- Arrêt ou très fort ralentissement de la coulée.
- Fuite de source.
- Le temps inter coulée génère une reprise lors du remplissage (lingots à plusieurs poches).

**C/-Réparation possible :**

En fonction de la gravité :

- Meulage
- Flammage



**Figure 34 : Reprise de coulée**

**II.9.3.Double peau****A/ Aspect :**

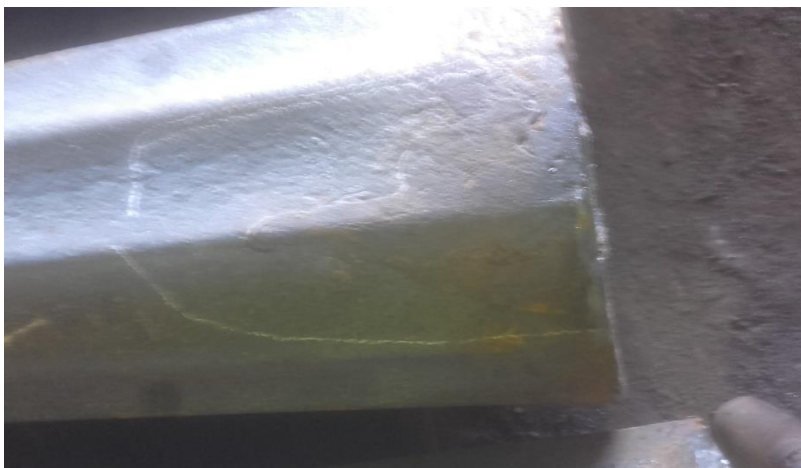
Croûte solidifiée sur la surface du lingot lors de projection du métal en relief dans la peau du lingot, la profondeur atteint plusieurs millimètres d'épaisseur, répartie en pied de lingot.

**B/-Origine :**

- Le remplissage du métal dans la mère avec une vitesse élevée
- Humidité résiduelle dans les réfractaires de source
- Répartition aléatoire du métal dans les canaux à l'ouverture
- Mauvais centrage de l'arrivée du métal dans la lingotière
- T° de coulée trop élevée

**C/Réparation possible :**

Meulage des zones touchées sur lingots



**Figure 35 : Double peau**

### II.9.4. Criques

#### A/ Aspect :

Les criques sont le plus souvent longitudinales plus ou moins ouvertes de formes sinueuses et situées préférentiellement côté pied des lingots, elles peuvent être sous-cutanée.

En général la profondeur du défaut peut atteindre Jusqu'à plusieurs dizaines de cm qui peuvent affecter la longueur totale du lingot (lingots ronds).

#### B/Origine :

Plusieurs facteurs parmi les suivants :

- Format et taille de la lingotière (le plus critique est le rond)
- Nuance sensible (bas carbone)
- Vitesse de coulée trop rapide
- Température de coulée trop élevée
- Mauvais centrage de l'arrivée métal en lingotière
- Etat de la lingotière (chaude, déformée)
- Résiduels élevés, notamment le soufre
- Hétérogénéité de refroidissement

**C/Réparation possible :** lingot rebut



**Figure 36 : Criques**

### II.9.5. Retassures

#### A/Aspect :

Le plus souvent la partie liquide n'est plus suffisante pour remplir l'espace compris entre les parois solides, le vide crée une poche de retassure ayant la forme d'un cône dont la pointe est dirigée vers le bas.

#### B/Origine :

Retrait du métal (forme conique). Accumulation des impuretés solidifiées en dernier lieu. Lors de son refroidissement, l'acier subit un retrait dû à sa contraction lors de la solidification. Le retrait dans les lingots d'acier calmé est de 6% du volume. La solidification de l'acier commence près des parois de la lingotière et de sa surface supérieure, l'accroissement de l'épaisseur du métal solidifié s'effectue en direction du centre du lingot.



**C/Réparation possible :****• Elimination par chute :**

Ce procédé consiste à rejeter la tête du lingot où se trouve la retassure, la retassure est localisée lors de la coulée, la perte du métal est très importante car la retassure peut représenter jusqu'à 1/3 du volume du lingot.

Ce procédé consiste à localiser la poche de retassure à la partie supérieure et à la maintenir à l'état liquide afin de diminuer l'importance de chute, plusieurs méthodes sont utilisées tels que :

- Chauffage au chalumeau ou à l'arc électrique.
- Combustion de charbon sur la couche superficielle de la scorie.
- Utilisation de poudre aluminothermique.



**Figure 37 : Retassures**

**II.9.6. Ségrégation ou hétérogénéité chimique :**

C'est une répartition irrégulière des composants d'alliages et des impuretés dans les lingots. Un lingot n'est jamais un solide homogène et isotrope. Après analyse macrographique, quatre zones de cristallisation très différentes peuvent se distinguer dans le lingot et leur importance varie considérablement d'un lingot à l'autre selon le type d'acier, son mode d'élaboration et les conditions de coulée et de solidification.

La ségrégation est due aux températures de surfusion supérieures à la température de fusion de l'acier lors de sa solidification, où on peut constater un déplacement des concentrations, ce qui provoque la formation des cristaux avec une faible concentration en éléments d'alliages.

La ségrégation peut entraîner à une altération sensible des propriétés des parties dont l'acier est moins ductile et plus difficile à travailler à chaud. La ségrégation est un défaut inévitable dans la coulée classique et il est plus important pour l'acier effervescent que pour l'acier calmé, à cause de dégagement gazeux qui entraîne les inclusions et les parties restées liquides riches en impuretés, à l'intérieur du lingot.

Pour atténuer l'hétérogénéité de l'acier, on a recours au façonnage à chaud par forgeage ou laminage suivi ou non d'un recuit d'homogénéisation. Le façonnage à chaud détruit la structure dendritique, dissémine les inclusions et favorise ainsi la diffusion occasionnée par la haute température en rapprochant les parties d'inégale composition.

### II.9.7. Incrustation de la poudre

#### A/Aspect :

Apparition de zone foncée sur la surface du lingot, localisée dans la partie inférieure du lingot sur une hauteur du 100 à 250 mm.

#### B/Origine :

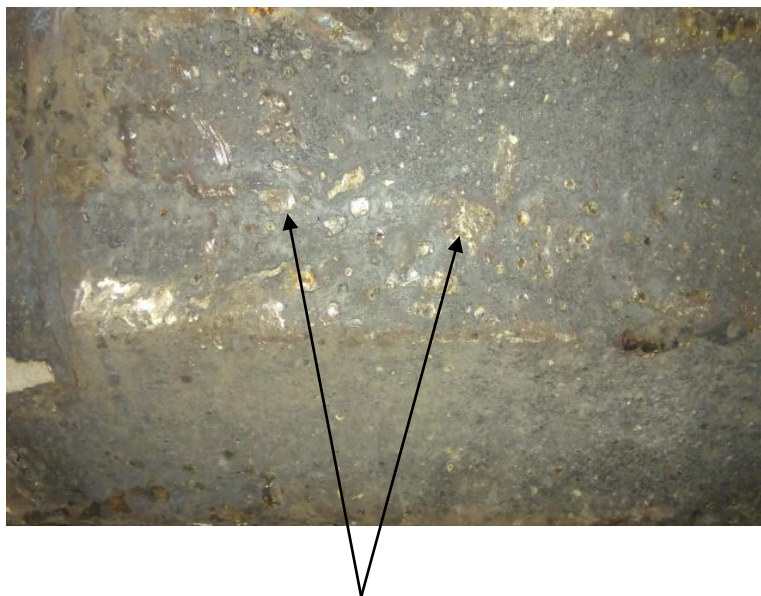
-Mauvais emplacement du sac de la poudre lubrifiant (la hauteur entre 100 à 150 mm selon fiche d'instruction).

- Mauvaise qualité de la poudre

- Non-respect de la température et de la durée de séchage de poudre (la température de séchage entre 90-110°C, et la durée environ 6heure selon la fiche d'instruction). [12]

#### C/ Réparation possible :

- **Elimination par chutage** : chauffage au chalumeau ou à l'arc électrique.



**Figure 38 : Incrustation de la poudre**

### II.10. Statistiques et détails sur les défauts d'ACE (sur lingots) :

L'ACE a pu redémarrer la fabrication des lingots à partir de l'année 2017 et cela après l'arrêt annuel 2015-2016.

Le tableau ci-dessous montre l'évolution du taux de rebut par type de défaut durant les trois dernières années 2017-2018-2019 ainsi que le 1<sup>er</sup> trimestre 2020. Cette évolution dépend de l'influence de plusieurs paramètres de maîtrise processus (matériel de coulée, brique de source, nuance d'acier, état thermique (plaque, lingotière, poche,), affinage, qualité de poudre de lubrification, qualité de la chamotte, vitesse de coulée, température de coulée... etc.



Tableau 8 : Taux de rebuts par année]13[

Année / Type de défaut	2017	2018	2019	1 <sup>er</sup> trimestre 2020
<b>Incrustation de la poudre %</b>	<b>0,29</b>	<b>0,88</b>	<b>1,29</b>	<b>2,62</b>
Soufflure %	0,56	0,09	0,40	0,33
Double peau%	0,05	0,20	0,15	0,06
Reprise de coulée%	0,90	2,06	0,99	0,12
Crique %	0,66	0,20	0,20	0,40
Retassure %	0,02	0,29	0,50	1,04
Défaut de lingotières %	0,02	0,10	0,01	0,01
Ségrégation %	0,38	0,20	0,50	1,01
<b>Total rebut par année %</b>	<b>2,88</b>	<b>4,02</b>	<b>4,04</b>	<b>5,59</b>

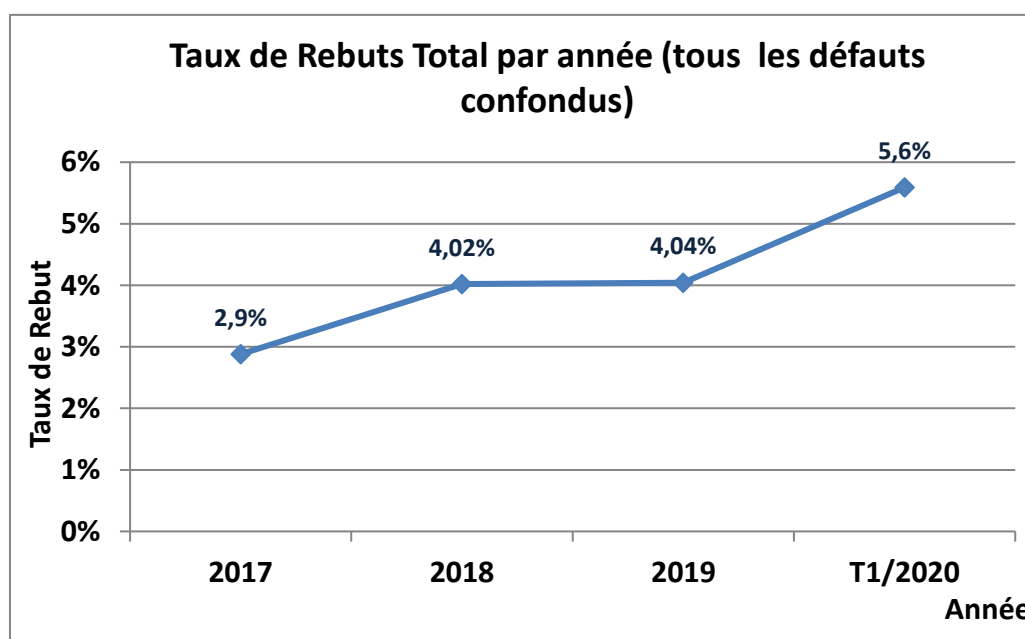


Figure 39 : Evolution de taux de rebut

### Interprétation

Ce tableau nous montre le taux de rebut par année à partir de 2017. On remarque qu'il y'a une augmentation progressive de taux des défauts à cause de l'augmentation de pourcentage de défaut "incrustation de la poudre lubrifiant".

Nous signalons que l'année la plus affectée par ce défaut est le 1<sup>er</sup> trimestre de l'année 2020.

L'objectif principal doit tendre vers 0% de rebut.

**Conclusion :**

Au cours du stage pratique, effectué dans l'aciérie électrique (Sider El-Hadjar), nous avons suivi le déroulement de la fabrication des lingots de la coulée jusqu'à l'obtention du demi produit.

Nous avons constaté plusieurs défauts de surface sur les lingots en particulier l'incrustation de poudre.

Pour l'obtention d'un bon état de surface des lingots, il faut utiliser des produits appropriés de bonne qualité telle que la poudre de lubrification.

Donc, il faut que les lingots livrés à la Tuberie sans soudure soient dépourvus de défauts.

A partir de cette constatation nous avons fait dans le chapitre III suivant une étude expérimentale pour voir l'origine de **l'incrustation de poudre**, et les paramètres qui sont les plus influents quant à l'apparition de ce défaut.

# **CHAPITRE III**

## **Etude expérimentale**

### III. Problématique:

**Pour obtenir une bonne qualité des lingots et un bon état de surface après solidification, on doit préalablement :**

- Préparer l'installation de la coulée en source selon des procédures de travail.
- L'usage de produits appropriés tel que le choix de la poudre lubrifiante adéquate.
- Un étuvage de la poudre avec durée et température approprié.

#### III.1. Taux de réparation des lingots 1<sup>er</sup> trimestre 2020.

Pour la réalisation du diagramme de **Pareto**, on s'est limité sur l'étude du nombre de réparation de lingots au cours du 1<sup>er</sup> trimestre 2020.

Ce tableau ci- dessous représente le taux de réparation des défauts et le pourcentage cumulé.

**Tableau 9 : Taux de réparation des lingots**

Type de défaut	Nombre de lingots	Pourcentage %	Pourcentage cumulé %
<b>Incrustation de la poudre</b>	107	68,59	68,590
<b>Reprise de coulée</b>	22	14,10	82,692
<b>Retassure</b>	11	7,05	89,744
<b>Double peau</b>	6	3,85	93,590
<b>Soufflure</b>	5	3,21	96,795
<b>Ride</b>	3	1,92	98,718
<b>Défaut de lingotières</b>	2	1,28	100
<b>TOTAL</b>	156	100	

#### III.1.1. Diagramme de Pareto :

**Le diagramme de Pareto** est un graphique représentant l'importance de différentes causes d'un phénomène. Ce **diagramme** permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effet et ainsi de prendre des mesures ciblées pour améliorer une situation.

Il est également appelé la méthode des 20/80.

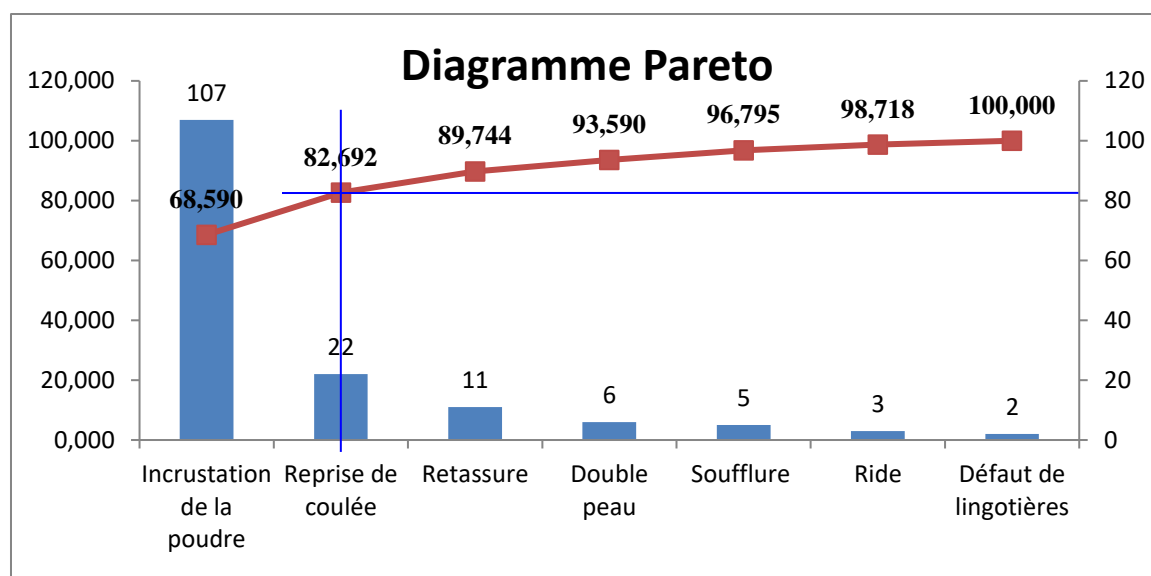


Figure 40 : Représentation du diagramme de Pareto

#### Interprétation du diagramme :

On observe que 82,69 % du taux de la réparation des lingots vient essentiellement des défauts reprise de coulée et incrustation de la poudre.

Notre étude va s'orienter sur le défaut prédominant qui est l'**incrustation de la poudre**, qui mérite une analyse plus approfondie pour définir les actions correctives à entreprendre.

#### III.2. Variation du défaut le plus dominant :

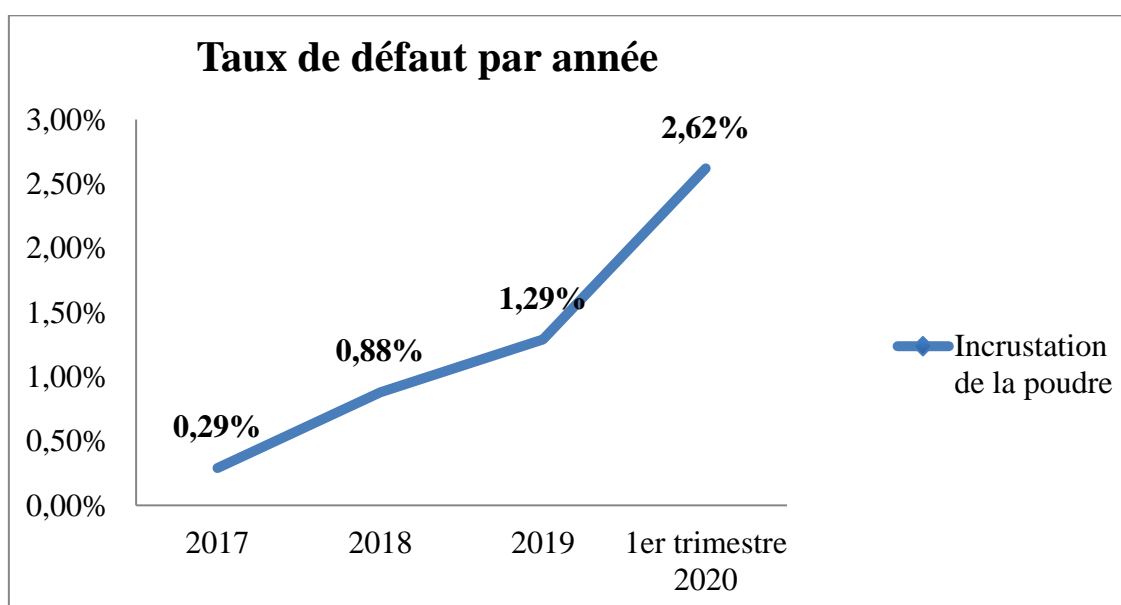


Figure 41 : Le taux de progression de l'incrustation de poudre

#### Interprétation :

Nous constatons une nette progression du défaut incrustation de poudre durant les quatre dernières années.

### III.3. Aperçu sur le défaut prédominant incrustation de poudre :



Figure 42 : Après réparation  
**Lingot bon**



Figure 43 : Après réparation  
**Lingot rebut**

### III.4. Nature de la poudre lubrifiante utilisée à l'aciérie électrique:

#### A/ Définition :

C'est une matière pulvérulente silico-alumineux grise qui contient une part importante de cendres volantes, connue sous le nom : **Thermotect M25/10**

Ses caractéristiques principales :

- Viscosité assez élevée.
- Vitesse de fusion faible.

#### B/ Propriétés de la poudre :

- ✓ **Propriétés chimiques :**

Tableau 10: Spécification technique de la poudre

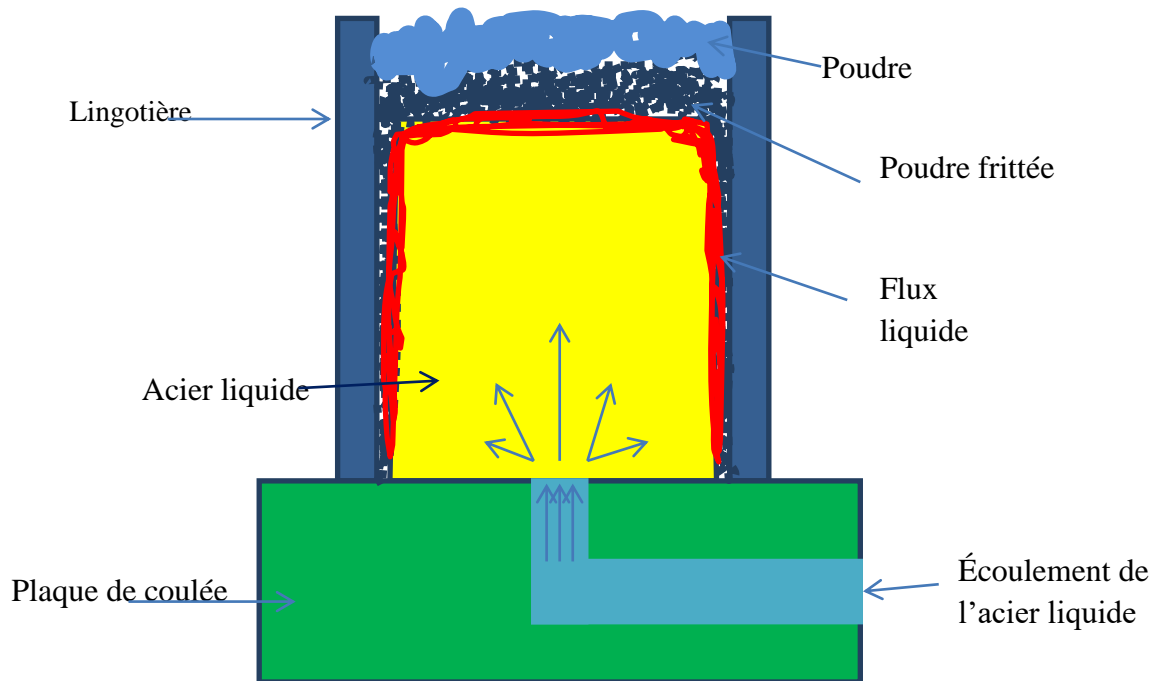
Eléments Chimiques	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	C%	K <sub>2</sub> O %	H <sub>2</sub> O %
<b>Spécification Technique</b>	5-10	5-10	30-40	< 5	15-20	< 1	< 7	23-27	< 7	< 0,7

- ✓ **Propriétés physiques :**

- Aspect : poudre granulée
- Densité : 0,55-0,77 g/cm<sup>3</sup>
- Point de fusion : 1225-1275°C
- Granulométrie : 0-1 mm

#### C/ Rôle de la poudre :

- Une isolation thermique
- Une bonne protection des parois de la lingotière
- Un démoulage facile
- Protection de l'atmosphère.
- Absorption des inclusions non métalliques
- Lubrification
- Régulation du transfert thermique



**Figure 44 : Etat de la poudre dans la lingotière**

### **III.5. Les analyses nécessaires pour la caractérisation :**

La connaissance des propriétés nécessite d'étudier la poudre avant et après étuvage, avec deux méthodes d'analyse chimique (voie humide et fluorescence aux rayons x).

Ce travail a pour but de :

- Déterminer la composition chimique de la poudre.
- Le taux d'humidité.
- Avoir une idée globale sur les caractéristiques de la poudre.

#### **III.5.1. Analyse chimique de poudre :**

L'analyse chimique de la poudre se fait par analyse spectrale à l'aide d'un spectromètre de fluorescence aux rayons X (Bruker S8 TIGER), pour déterminer la composition des oxydes.

L'analyse chimique de la poudre a été réalisée au niveau du laboratoire central appartenant à la structure contrôle qualité SIDER EL HADJAR.



**Figure 45 : Spectromètre de fluorescence aux rayons X**

#### **III.5.1.1. Préparation des échantillons (perle):**

La mise en solution d'un échantillon poudre avec le fondant se fait de la manière suivante :

- Prélever 0,7g de poudre à analyser
- Ajouter 5g de réactif tétra borate de lithium  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$
- Ajouter quelques milligrammes d'un halogénure alcalin tel que le KI (iodure de potassium)

Le mélange (fondant + prise d'essai) est versé dans le creuset en carbone vitreux chauffé dans un four à moufle à  $1150^\circ\text{C}$  pendant 5mn.

Ouvrir le four, agitation du creuset dans les deux sens, mettre la nacelle et poursuivre le chauffage encore 5mn.

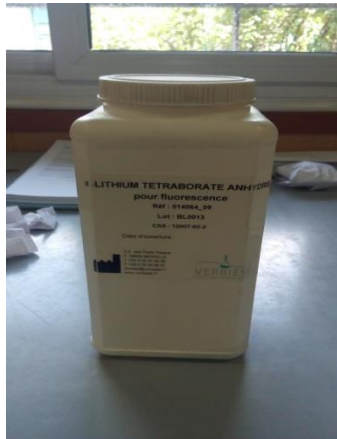
En fin de fusion, le mélange prise d'essai+ fondant est alors fondu, homogénéisé et coulé dans une nacelle en platine.



**Perle**



## III.4.1.2. Moyens utilisés:

**Fondant****Poudre****Balance analytique****Four à moufle**

**III.5.2. Taux d'humidité :** C'est la quantité d'eau absorbée par la poudre, s'évaporant intégralement à la température 90°C /110°C, cette quantité d'eau est évaluée par perte de poids selon des conditions normalisées de chauffage et de durée.

Le taux d'humidité est déterminé par gravimétrie de la manière suivante :

- Prendre un verre de montre, lavé et sèche à 100°C dans une étuve
- Peser le verre de montre vide
- Peser le verre de montre avec 1g de poudre ( $P_1$ ).
- Mettre la poudre dans l'étuve à la température 105°C pendant 1 heure, refroidir et peser le verre de montre avec poudre ( $P_2$ ).
- Remettre l'échantillon dans l'étuve jusqu'au poids final constant :

$$\text{Poids final} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\text{Nombre}}$$

- Calculer la teneur en eau H (%), exprimée en pour-cent, de la façon suivante :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{\text{Poids échantillon humide} - \text{Poids échantillon sec}}{\text{Poids échantillon sec}} \times 100$$

## III.5.2.1. Moyens utilisés:



Poudre avant séchage



Poudre après séchage



Four



Balance analytique

$$\text{Calcul : } H_2O(\%) = \frac{P_1 - P_F}{P_1} \times 100\%$$

## ➤ Poudre avant séchage :

$$P_F = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{\text{Nombre}} \Rightarrow \frac{1,56 + 1,54 + 1,53 + 1,52}{4} = 1,537g$$

$$H_2O(\%) = \frac{1,6 - 1,537}{1,6} \times 100 = 3,93\%$$

## ➤ Poudre après séchage :

$$P_F = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\text{Nombre}} \Rightarrow \frac{1,57 + 1,56 + 1,55}{3} = 1,56g$$

$$H_2O(\%) = \frac{1,6 - 1,56}{1,6} \times 100 = 2,50\%$$

**Tableau 11 : Résultats du taux d'humidité incorporé dans la poudre**

Poudre	Verre de Montre(g)	P <sub>1</sub> (g)	P <sub>F</sub> (g)	H (%)
Avant séchage	0.6	1.6	1,537	3,93
Après séchage	0.6	1.6	1,560	2,50

**III.5.3. Le taux de carbone :** Le taux de carbone est déterminé par calcination d'un échantillon de poudre selon la méthode gravimétrique :

- Peser 1g de poudre (P<sub>1</sub>)
- chauffer dans un four à moufle à 1000°C pendant 1 heure
- Peser la poudre après chauffage (P<sub>2</sub>)
- La différence de masse représente le taux de carbone contenu dans la poudre

$$\text{Calcul : } C(\%) = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\% \quad \Rightarrow \quad C(\%) = \frac{1 - 0.75}{1} \times 100\% = 25\%$$

**Tableau 12 : Résultats globaux des analyses chimiques**

Eléments chimiques	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	MgO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	C %	K <sub>2</sub> O %	H <sub>2</sub> O %
Spécification technique	5-10	5-10	30-40	< 5	15-20	< 1	< 7	23-27	< 7	< 0,7
Poudre avant séchage	8.55	9.55	34.75	3.59	18.23	0.05	0.02	25	-	<b>3.93</b>
Poudre après séchage à 105°C	8.91	9.08	34.90	3.99	17.23	0.05	0.02	25	-	<b>2.50</b>

**Interprétation :**

D'après ce tableau on a constaté que les résultats d'analyse chimique de la poudre avant et après séchage sont dans la fourchette sauf le taux d'humidité qui est hors tolérance par rapport à la spécification technique.

Le taux élevé d'humidité dans la poudre a influé sur la qualité des lingots, et sur le taux global des défauts au niveau de l'aciérie électrique.

# **CONCLUSION & RECOMMENDATIONS**

### Conclusion et recommandations.

A chaque réalisation du programme de lingots, on enregistre un taux élevé de défauts, rebuts et réparations, dépassant l'objectif fixé par la direction.

Notre étude expérimentale a été basée essentiellement sur l'étude de l'origine du défaut **incrustation de la poudre de lubrification**.

Ce défaut apparaît sur la surface du lingot sous forme de poudre incrustée, qui est causé principalement par un mauvais stockage de la poudre après réception.

Cette étude a été réalisée en utilisant plusieurs méthodes d'analyse chimique :

- Analyse spectrale (**fluorescence aux rayons X**).
- Analyse par gravimétrie pour détermination du taux d'humidité.
- Analyse par gravimétrie pour détermination du taux de carbone.

D'après les résultats expérimentaux de cette étude, on conclut que :

- ✓ Le taux d'humidité absorbé par la poudre est très élevé par rapport à la spécification technique. Ceci est dû au mauvais stockage de la poudre et durée d'étuvage insuffisante.


Pour remédier à ce problème on propose :

- Amélioration des conditions de stockage de la poudre.
- Détermination du taux d'humidité après l'étuvage jusqu'à l'atteinte du taux inférieur à 0,7% selon la spécification technique.
- Augmentation de la durée d'étuvage.
- Facilitation de la vaporisation de l'humidité prisonnière à l'intérieur du sac en trouant la partie supérieure du sac à poudre.
- Augmentation du diamètre granulométrique de la poudre.

Pour une bonne gestion de ce défaut on suggère :

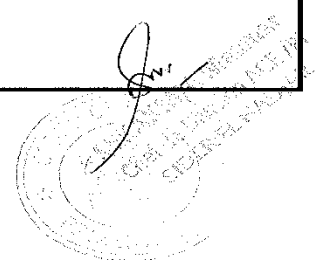
- Un atelier de contrôle non destructif pour détecter la profondeur de défaut.
- Un laboratoire d'analyse chimique de la poudre au niveau de l'aciérie électrique

- [1]. Document direction générale -SIDER ELHADJAR- Année 2009.
- [2]. Précis métallurgie, élaboration – propriétés et normalisation. Par **Jean Barralis** et **Gérard Maeder**, Page 4, 5, 6,7 et 8. **Année 2011.**
- [3].Technologie, élaboration des métaux ferreux, les aciers, Page 2,3. **Année 2006.**
- [4]. Document rapport de stage, Arcelor Mittal- Annaba, **Mr. Alexandre Bonin** page 24 et 25. **Année2007.**
- [5]. Document bureau technique "Aciérie électrique"
- [6]. Elaboration des métaux Ferreux (fontes et aciers), **Thèse Mr. Bensaada.** Page 71, 72,119, 121, 124,125. **Décembre 2009.**
- [7]. L'ajustement de la désoxydation –clé de l'atténuation du défaut de paille sur le tube sans soudure «mémoire de master 2» présenté **par Chelighem Yasser** Université de Annaba page 38, 39, 40. **Année 2018.**
- [8]. Modélisation 3D par éléments finis du refroidissement primaire lors de la coulée continue d'aciers. Thèse doctorat présenté **par Marc Henri** Page 14,15, 16 et 17.**Année 2002.**
- [9]. Produits de la coulée continue. Document web site, Wikipédia. Page 8.**Avril 2005.**
- [10]. Document service exploitation procédure de travail " Aciérie électrique".
- [11]. Cahier détaché N°2 [www.lemoiteur.fr](http://www.lemoiteur.fr), la moiteur N°5733.**11octobre 2013.**
- [12]. Document service contrôle qualité, Catalogue des Défauts " Aciérie électrique ".
- [13]. Document service contrôle qualité, Bilan qualité " Aciérie électrique " **Année 2017, 2018, 2019,2020.**


<p>SIDER EL-HADJAR</p> 	<p><b>SPECIFICATION TECHNIQUE POUDRE DE LUBRIFICATION COULEE EN SOURCE</b></p>	<p>DIVISION ACE</p>																
<p style="text-align: center;"><b><u>ANALYSE PHYSIQUE</u></b></p> <p>ASPET : Poudre granulée  DENSITE (g/cm3): 0,55-0,70  TENEUR H<sub>2</sub>O% : &lt;0,7 %  POINT DE FUSION: 1225-1275°  GRANULOMETRIE: 0-1mm  EMBALLAGE : Sac de 2kg en papier  LIMITE D'UTILISAION: 12 MOIS</p> <p style="text-align: center;"><b><u>ANALYSE CHIMIQUE</u></b></p> <table border="0"> <tr> <td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td> <td>15-20 %</td> </tr> <tr> <td>MGO</td> <td>&lt;5 %</td> </tr> <tr> <td>SiO<sub>2</sub></td> <td>30-40%</td> </tr> <tr> <td>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td> <td>5-10 %</td> </tr> <tr> <td>TiO<sub>2</sub></td> <td>&lt;1%</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>23-27 %</td> </tr> <tr> <td>CaO</td> <td>5-10%</td> </tr> <tr> <td>Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O</td> <td>&lt;7%</td> </tr> </table>			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-20 %	MGO	<5 %	SiO <sub>2</sub>	30-40%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-10 %	TiO <sub>2</sub>	<1%	C	23-27 %	CaO	5-10%	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	<7%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-20 %																	
MGO	<5 %																	
SiO <sub>2</sub>	30-40%																	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-10 %																	
TiO <sub>2</sub>	<1%																	
C	23-27 %																	
CaO	5-10%																	
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	<7%																	

*Chetli*

T-AR





 SIDER EL HADJAR	ENREGISTREMENT SM	Réf: ENR/LMP/5.10/01
		Indice: 00
	RAPPORT D'ANALYSES	Date de création: 24 NOV 2013
		Page 1/1

Date de l'analyse: ...18/03/2020..... Nature de l'analyse: ...Chimique et physico-chimique LABORATOIRE: matières premières et analyses spéciales

N°: 00012 / 2020

Matières Non Métalliques:

Date de Réception	Client	Matières	Code	Fe2O3	CaO	SiO2	MgO	Al2O3	TiO2	Na2O	C	K2O	H2O
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
19/03/2020 A 13H30	ACE	Poudre de Lubrification (thermotectM25/10)	Du 18/03	8.91	9.08	34.90	2.59	17.23	0.05	0.02	25.97	-	2.50


Observation : Après séchage à 105°C.

VISA DU CHEF DU LABORATOIRE

Mme: BERKOUS DALILA

Notes:

- Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons dont les numéros figurent sur le tableau ci-dessus
- Ce rapport d'analyses ne doit pas être reproduit sans l'autorisation écrite du laboratoire

 <p>SIDER EL HADJAR</p>	ENREGISTREMENT SM	Réf: ENR/LMP/5.10/01
		Indice: 00
	RAPPORT D'ANALYSES	Date de création: 24 NOV 2013
		Page 1/1

Date de l'analyse: 22/03/2020 Nature de l'analyse: Chimique et physico-chimique LABORATOIRE: matières premières et analyses spéciales

N°: 00016 / 2020

**Matières Non Métalliques:**

Date de Réception	Client	Matières	Code	Fe2O3	CaO	SiO2	MgO	Al2O3	TiO2	Na2O	C	K2O	H2O
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
23/03/2020	ACE	Poudre de Lubrification (thermotectM25/10)	Du 22/03	7.91	7.55	31.15	3.59	18.23	0.05	0.02	25.90	0.009	3.93

Observation : Avant séchage

VISA DU CHEF DU LABORATOIRE  
Mme: BERKOUS DALILA

**Notes:**

- Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons dont les numéros figurent sur le tableau ci-dessus
- Ce rapport d'analyses ne doit pas être reproduit sans l'autorisation écrite du laboratoire

**CONDITIONS DE STOCKAGE DE LA POUDRE**

