

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGIORAT  
DEPARTEMENT DE METALLURGIE ET GENIE DES MATERIAUX

## MEMOIRE DE MASTER

OPTION : Génie Métallurgique

### *Thème*

Etude bibliographique d'un des défauts sur les cylindres  
de travail, entre autre L'écaillage des cylindres

**Présenté par :**

Mr : Boudjelida Alaeddine

**Dirigé par :**

Mr : Graini Said

**Jury de soutenance :**

Pr. Fares Mohamed lamine (président)

Dr. Mebarek Abdelmalek

Dr. Boudebane Azzedine

Dr. Zaaf Mohamed

**Année universitaire 2017 / 2018**

# *Dédicaces*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie cette thèse de Master à :*

*A Ma tendre Mère HALIMA : Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études*

*A Mon très cher Père ALI : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.*

*A mes cher frères : Ayoub et Kossay.*

*A mon sœur : Roumaïssa.*

*A mes chers beaux-parents.*

*A mes chère belle-sœur, mes chers beaux-frères.*

*A mes très chers amis : Yasser, Naoufel, Bouzid, Mouhamed,*

*A mes collègues : Ghoulem, Mouhamed Hafnawi, Takje eddine, Mouad, Nawel et Hadjer*

*A tous les membres de ma promotion. A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études. A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.*

*Alaeddine*

# Remerciements

*Tout d'abord, je remercie le Dieu de m'avoir prêté vie, santé et volonté pour terminer ce travail*

*Je tiens à exprimer profondément et sincèrement mes remerciements et ma reconnaissance du DR GRAINI Saïd pour leur encadrement et surtout pour avoir bien voulu lire mon travail, pour ces judicieux conseils et pour la confiance qu'il m'a témoigné.*

*Je souhaite également remercier Mr BOUGUERRA pour avoir bien voulu parrainer pendant mon stage au sein de LAC el HADJAR,*

*Je tiens à remercier tous les étudiants, et exprimer ma profonde gratitude à tous les enseignants qui sont eux, nous serions par arrivés à ce niveau.*

*Enfin. Grand Merci à toute ma famille, à mes chers parents, mes frères, à ma sœur, à mes amis pour leur encouragement et leur soutien durant ces longues années*

# *Sommaire*



# Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
PRESENTATION DU COMPLEXE D'EL-HADJAR .....	1
HISTORIQUE DU COMPLEXE D'EL-HADJAR.....	2
STRUCTURE GENERALE DU COMPLEXE D'EL-HADJAR.....	4
PRODUITS DU COMPLEXE D'EL-HADJAR .....	5

## CHAPITRE 1 : processus de laminoir à chaud

I.1. Introduction .....	8
I.2. Définition de laminage.....	9
I.3. Historique .....	10
I.4. Typologie de laminoirs.....	11
I.5. Laminoir à chaud.....	12
I.6. Laminage des produits plats .....	12
I.7. Description technologique .....	14
I.7.1. Représentation de l'unité (LAC) .....	14
I.7.1.1. PARC A BRAMES (PAB) : .....	15
I.7.1.2. Atelier de rectification des cylindres (ARC) .....	16
I.7.1.3. Fluides (FLD) .....	17
I.7.1.4. Train à chaud (TAC) .....	18
I.7.1.4.1. La zone des fours moussants .....	19
a) Pas à pas. ....	20
b) Enfournement. ....	21
c) Four de réchauffage .....	22
d) Défournement .....	23
I.7.1.4.2. La zone du train dégrossisseur .....	27
I.7.1.4.3. La zone du train finisseur .....	28
I.7.1.4.3.1. Cisaille volante .....	29
I.7.1.4.3.2. Décalamineuse secondaire .....	30
I.7.1.4.3.3. Train finisseur .....	30
I.7.1.4.3.4. Refroidissement des cylindres de travail .....	31
I.7.1.4.4. Table d'évacuation, refroidissement et zone de bobinage.....	32
I.7.1.4.4.1. Les guides d'entrés .....	33
I.7.1.4.4.2. Table à rouleaux et règle de centrage au-dessus des bobineuses.....	33
I.7.1.4.4.3. Rouleaux pinceurs .....	34
I.7.1.4.4.4. Bobineuse .....	35
I.7.1.4.4.5. Chariot extérieur bobine .....	35
I.7.1.4.4.6. Culbuteur bobines .....	35
I.7.1.4.4.7. Chariot transporteur à « C » .....	35

I.7.1.4.4.8. Elévateur bobine .....	36
-------------------------------------	----

CHAPITRE II : Défaut d'écaillage sur cylindre. Définition et origine.

II.1. introduction .....	39
II.2. définition d'écaillage des cylindres .....	41
II.3. les différents types d'écaillage .....	42
II.3.1. Ecaillage en éclat .....	42
II.3.1.1. Définition .....	42
II.3.1.2. origine .....	42
II.3.2. Eclat langue de chat.....	43
II.3.2.1. Description .....	43
II.3.3.2. Origine .....	45
II.3.3. Interface Couche externe/Cœur (lien relatif aux éclats) .....	45
II.3.3.1. Description .....	45
II.3.3.2. Origine .....	46
II.3.5. Ecaillage des extrémités du cylindre .....	47
II.3.5.1. Description .....	48
II.3.5.2. Origine .....	48
II.3.6. Bandes de crique à feu .....	49
II.3.6.1. Description .....	49
II.3.6.2. Origine .....	49
IV.7. Lignes de crique à feu .....	50
II.3.7.1. Description .....	50
II.3.7.2. Origine .....	50
II.3.8. faïençage de crique à feu .....	50
II.3.8.1. Description .....	50
II.3.8.2. Origine .....	51
II.3.9. Le défaut de standard surcharge de choc .....	51
II.3.9.1. Description .....	51
II.3.9.2. Origine .....	52
IV.3.10. Défaut standard de fracture de flexion .....	52
II.3.10.1. Description .....	52
II.3.10.1. Origine .....	52
IV.3.11. Défaut standard de couple de laminage .....	53
II.3.11.1. Description .....	53
II.3.11.2. Origine .....	53

CHAPITRE III : Paramètres influents sur l'écaillage des cylindres du laminage à chaud

III.1. Introduction .....	54
III.2. Méthodologie du travail .....	54
III.3. influence de la température.....	56

III.3.1. Impact direct de la température .....	56
II.3.1.1. Un chargement thermique .....	57
II.3.1.2. Un chargement physico-chimique .....	57
II.4. Influence de la qualité des cylindres .....	58
II.4.1. Cas cylindre MKB .....	59
III.4.2. Résultats d'analyses .....	60
III.4.2.1. Essais de dureté .....	60
III.4.2.2. Analyse chimique .....	60
III.4.2.4. Interprétation des résultats .....	62
III.4.2.4.1. Composition Chimique .....	62
III.4.2.4.2. Microstructure .....	62
III.4.2.5. Conclusion .....	62
III.4.2. Cas des cylindres DAVY ROLL .....	63
III.4.2.1. Composition chimique .....	63
III.4.2.2. Analyse microscopique .....	63
III.4.2.2.1. Observation sans attaque .....	64
III.4.2.2.2. Observation après révélation de la structure .....	64
III.4.2.3. Interprétation des résultats .....	65
III.4.2.3.1. La Composition Chimique .....	65
III.4.2.3.2. La Microstructure .....	65
III.4.2.4. Conclusion .....	66
III.4.3. Cas du cylindre INNSE CYLINDRI .....	67
III.4.3.1. Analyse chimique .....	67
III.4.3.3. La microstructure .....	68
III.4.3.4. Interprétation des résultats .....	70
III.4.3.4.1. Composition Chimique .....	70
III.4.3.4.2. Microstructure .....	70
III.4.3.4.3. Dureté .....	70
III.4.3.5. Conclusion .....	70
II.5. Influence des chocs mécaniques .....	71
III.5.1. Solution proposée .....	71
III.6. Influence du cambrage : .....	72
Conclusion .....	75

# *Liste des figures*

## CHAPITRE I : processus de laminoir à chaud

Figure 1 : Vue satellite du complexe d'El-Hadjar .....	1
Figure 2 : laminage. ....	9
Figure 3 : vue d'un ancien laminoir.....	10
Figure 4 : laminoir continue, laminoir à main. ....	11
Figure 5 : principe de laminage.....	13
Figure 6 : vue d'un parc à brame .....	16
Figure 7 : vue d'une rectifiées.....	16
Figure 8 : les composants de TAC.....	19
Figure 9 : organigramme de zone fours.....	20
Figure 10 : un électro-aimant.....	20
Figure11 : phase enfournement.....	22
Figure12 : coté défournement .....	24
Figure13 : bruleur.....	26
Figure14 : vue d'un quarto.....	28
Figure15 : vue des cages finisseuse.....	31
Figure16 : vue d'une Bobineuse.....	33
Figure17 : circulation du métal dans l'atelier.....	38

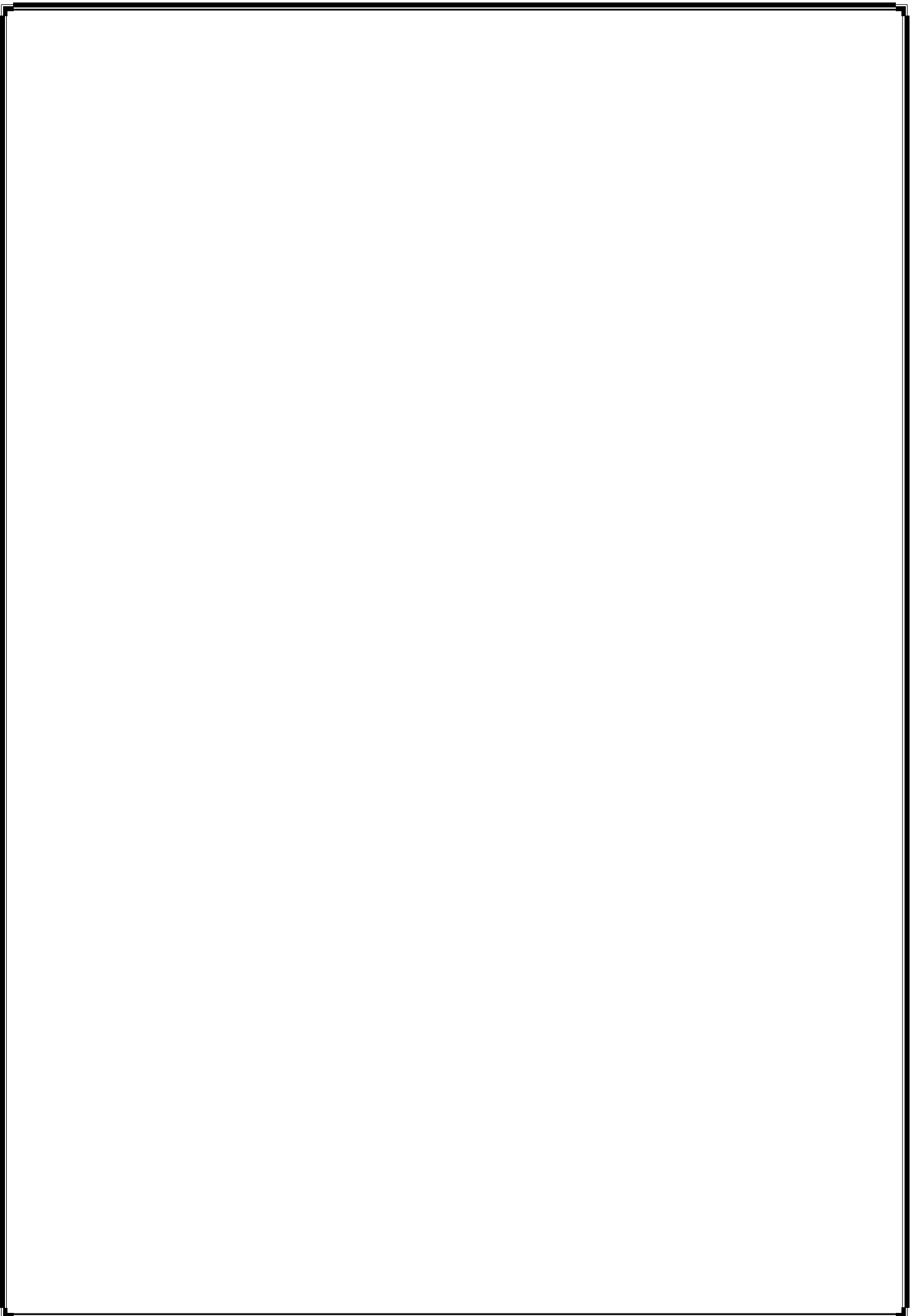
## CHAPITRE II : Défaut d'écaillage sur cylindre. Définition et origine.

Figure18 : Consommation des cylindres Annaba par rapport au groupe T1 2011 .....	39
Figure19 : écaillage sur cylindre N° 36657.....	41
Figure 20 : écaillage en éclat.....	43
Figure 21 : Eclat langue de chat.....	44
Figure 22 : éclat longue de chat.....	44
Figure23 : écaillage interface externe/cœur.....	45
Figure24 : interface couche externe/cœur.....	46
Figure25 : insuffisance de la profondeur de la couche externe.....	47
Figure26 : Écaillage des extrémités du cylindre.....	48
Figure27 : Bande de crique à feu.....	49
Figure28 : lignes de criques à feu.....	50
Figure 29 : faiçonnage des criques à feu.....	51



### CHAPITRE III : Paramètres influents sur l'écaillage des cylindres du laminage à chaud.

Figure30 : écaillage cylindres MKB.....	59
Figure 31 : analyse structurale d'un échantillon de cylindre MKB.....	61
Figure32 : structure (graphite) de cylindre MKB écaillé.....	61
Figure 33 : structure sans attaque chimique d'un échantillon Davy roll écaillé.....	64
Figure 34 : structure avec attaque chimique d'un échantillon Davy roll écaillé.....	66
Figure35 : photographie du cylindre écaillé INNSE CYLINDRI.....	67
Figure 36 : Microstructure de l'échantillon écaillé AVEC attaque chimique grossissement 150X.....	68
Figure 37 : Microstructure de l'échantillon écaillé avec attaque chimique grossissement 300X.....	69
Figure 38 : Microstructure de l'échantillon INNSE écaillé sans attaque chimique Grossissement X150.....	69
Figure 39. Vue de calcul des forces de cambrage du train finisseur.....	73
Figure 40 : Graphe de force de cambrage d'une bande laminée à 1,9mm d'épaisseur.....	74



# *Liste des tableaux*

## CHAPITRE I : processus de laminoir à chaud

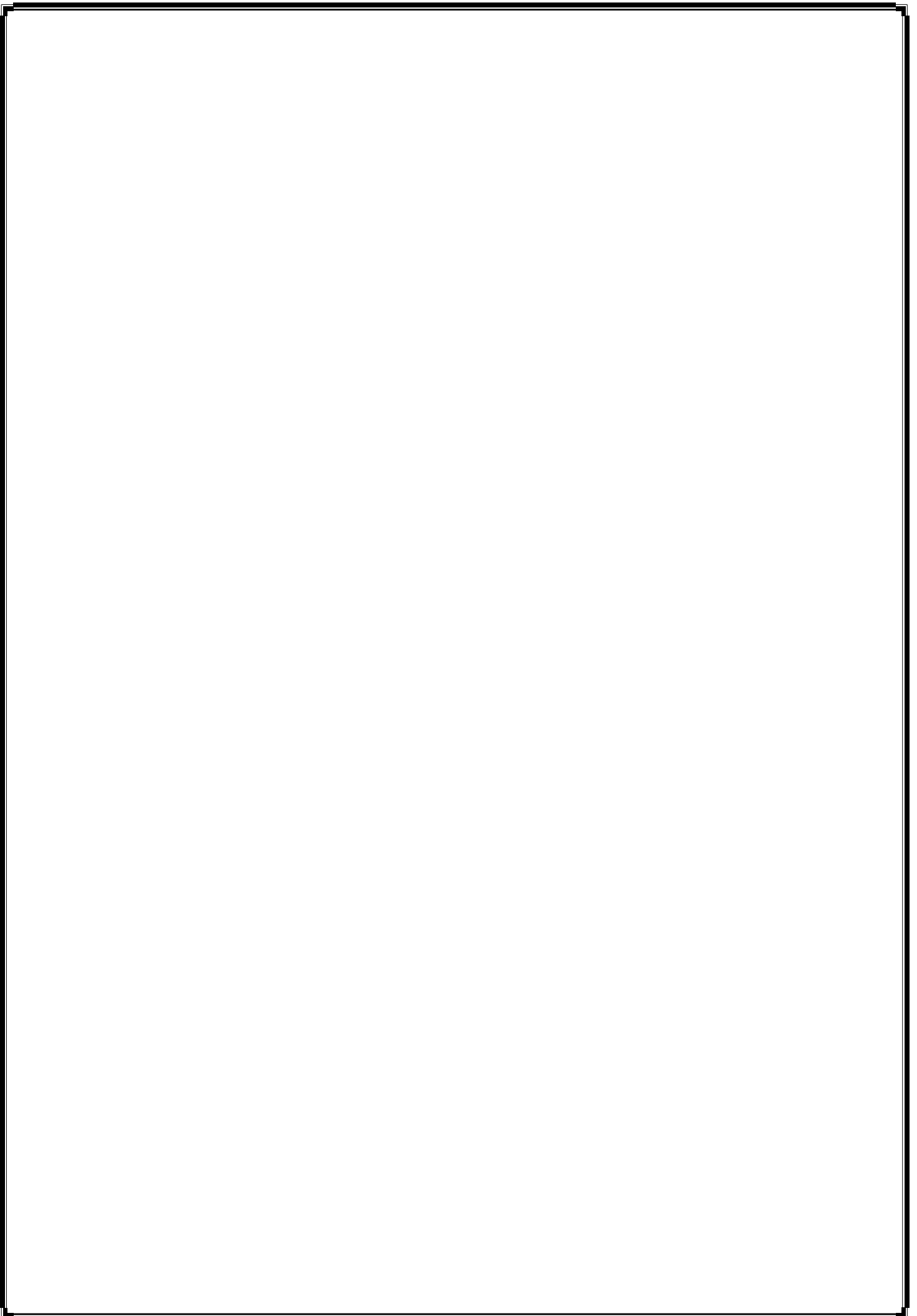
Tableau 1 : Produits du complexe d'El-Hadjar .....	6
Tableau 2 : les emplacements et les longueurs des brames .....	21
Tableau 3 : caractéristique ventilateur.....	23

## CHAPITRE II : Défaut d'écaillage sur cylindre. Définition et origine.

Tableau 4 : cylindres écaillées en 2010 et T1 de 2011.....	40
--	----

## CHAPITRE III : Paramètres influents sur l'écaillage des cylindres du laminage à chaud.

Tableau 5 : la dureté d'un échantillon de cylindre MKB écaillé.....	60
Tableau 6 : analyse chimique d'un échantillon de cylindre MKB écaillé.....	60
Tableau 7 : Analyse chimique d'un échantillon de cylindre DAVY ROLL écaillé.....	63
Tableau 8 : Analyse chimique d'un échantillon de cylindre INNSE écaillé .....	67
Analyse chimique d'un échantillon de cylindre INNSE écaillé .....	68



## *Liste des planches*

CHAPITRE III : Paramètres influents sur l'écaillage des cylindres du laminage à chaud.

Planche 1 : paramètres influant sur l'écaillage des cylindres dans le laminage à chaud.....	54
Planche 2 : paramètres influant sur température des cylindres dans le Laminage à chaud.....	55
Planche.3 : paramètres influant sur la qualité des cylindres dans le laminage à chaud.....	57
Planche 4. : Paramètres influant sur les chocs mécaniques dans le laminage à chaud.....	70
Planche5 : paramètres influant sur les forces de cambrage des cylindres dans le laminage à chaud.....	71

# Introduction

## Générale



# INTRODUCTION GENERALE :

## ***I. PRESENTATION DU COMPLEXE D'EL-HADJAR***

C'est un complexe sidérurgique intégré dont 51% des actions détenues par le groupe public Sider et 49% par Arcelor Mittal holdings AG, situé à l'Est du pays dans la zone industrielle d'ANNABA à une distance de 12 km au sud de la ville d'Annaba, il occupe une superficie de 832 hectares.



*Figure 1 : Vue satellite du complexe d'El-Hadjar*

Il dispose de ses propres installations maritimes reliées au réseau ferroviaire pour le transport des matières premières et les expéditions des produits finis. L'alimentation en minerai vient de deux (02) mines de fer « Ouenza et Boukhadra » d'une capacité totale de 3 millions de tonnes par an situées à 200 km d'Annaba gérées par Arcelor Mittal Tébessa sont reliées à l'usine par une ligne ferroviaire. Il est construit en quatre (04) zones de production :

1. ZONE FONTE ;
2. ZONE DES PRODUITS LONGS ;
3. ZONE DES PRODUITS PLATS ;
4. ZONE DES TUBERIES

Son ambition est de moderniser les installations pour porter la production de l'aciérie à 2,2 millions de tonnes par an à l'horizon 2017 contre environ 300 000 tonnes par an actuellement.

### **I. HISTORIQUE DU COMPLEXE D'EL-HADJAR**

L'entreprise nationale de sidérurgie a été créée par la société BNOISE 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 national 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.).

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 (PMA1)
- \*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 tuerie 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 :



## INTRODUCTION GENERAL

- 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.

Les sous directions produites plates (PPL), à un effectif égal à 4400 soit un taux de 25.88 Qui sont réparties aux différents postes.

- 120 personnes occupant les postes d'encadrement (cadre).
- 4280 postes de maîtriser et d'exécution répartis dans les différents ateliers.

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 :

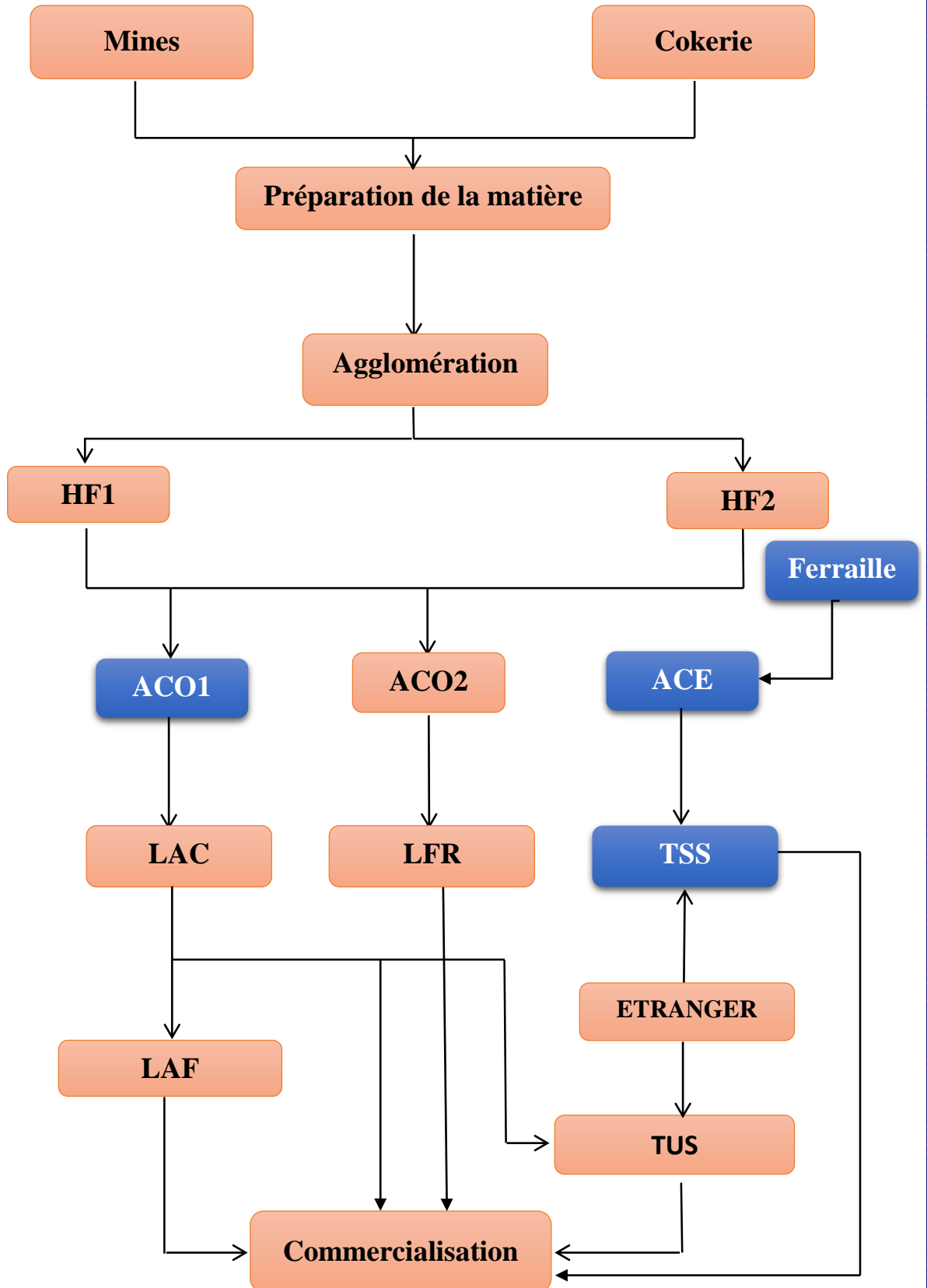
- S/D relations professionnelle du personnel (PRO/PER).
- S/D planification et organisation (PLO).
- S/D méthodes métallurgiques (MTM).
- S/D financier (FIN).

Après la compressions 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 aux nombre de vingt-quatre (24), cette application prend effet à partir de janvier 1999.

# INTRODUCTION GENERAL

## STRUCTURE GENERALE DU COMPLEXE D'EL-HADJAR



## INTRODUCTION GENERAL

### II. PRODUITS DU COMPLEXE D'EL-HADJAR

Les principaux produits sont :

<i>Installation</i>	<i>Produits</i>	<i>Utilisateurs</i>
Cokerie	Coke aggloméré	1. HF
Secteur haut-fourneaux HF1 et HF2	Fonte	1. Aciérie à oxygène
Aciéries à oxygène ACO1 et ACO2	Brames, billettes	1. Laminoir et forge.
Laminoir à chaud LAC	Tôles.	1. Construction métallique. 2. Chantier Navals. 3. Tubes et Bouteilles à gaz. 4. Industrie de transformation.
Laminoir à froid LAF	Tôles fines.	1. Electroménager. 2. Mobilier métallique. 3. Industrie de transformation.
Tuberie en spirale ALFAPIPE	Tube avec soudure	1. Transport des hydrocarbures et d'hydraulique.
Tuberie sans soudure TSS	Tube sans soudure	1. Exploitation d'hydrocarbures et d'hydraulique.
Aciérie électrique ACE	Lingots	1. TSS
Laminoir à fils ronds LFR	Fil rond à béton	1. Bâtiment et travaux publics hydraulique.
Etamage	Fer blanc	1. Emballages métalliques divers pour les industries alimentaires et chimiques.

## INTRODUCTION GENERAL

Galvanisation	Tôles galvanisés	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Bâtiments pour l'agronomie.</li><li>2. Industrie et élevage.</li></ol>
---------------	------------------	---

Tableau1 : Produits du complexe d'El-Hadjar

### **DEFINITION DU SUJET :**

Sur proposition de mon encadreur **Mr Graini**, portera sur :

- le processus technologique du laminage à chaud au niveau de l'unité LAC Annaba.
- Le thème de mon projet de fin d'étude qui n'autre que :

Etude bibliographique d'un des défauts sur les cylindres de travail, entre autre  
L'écaillage des cylindres

### **PROBLEMATIQUE :**

Au cours du stage pratique au sein de laminoir à chaud – Annaba, nous avons remarqué qu'il y'a périodiquement un arrêt du laminoir pour le remplacement de cylindres de travail produit un manque de production des tôles (bobines) et donc un manque à gagner, en plus des coûts exorbitants du cylindre à changer.

Le remplacement d'un cylindre est nécessaire si la qualité de la surface de la bande n'est plus satisfaisante. Or la qualité de surface de la bande est le miroir de celle du cylindre. L'augmentation de la productivité du laminoir passe donc par l'augmentation de la durée de vie des cylindres.

Le cylindre du laminoir subit une usure normale liée au frottement cylindre-bande. Cette usure est généralement compensée par une rectification.

L'objectif de cette recherche est de connaître les causes probables de cet écaillage accidentel et à y remédier.

### **Hypothèses :**

L'écaillage des cylindres de travail proviennent du :

- Les forces de frottement entre les cylindres et la bande au cours de laminage.
- La mauvais refroidissement des cylindres.
- La qualité de l'eau de refroidissement.
- L'influence des cylindres d'appuis.
- Les nuances d'aciers laminés.

## INTRODUCTION GENERAL

- Les forces de laminage.
- L'inattention des mains d'œuvre de laminoir.

# *CHAPITRE I*

## Processus technologique de laminoir à chaud



## **CHAPITRE I : processus de laminoir à chaud.**

### **I.1. INTRODUCTION :**

Le fond métallurgique et le niveau de production d'acier dans un pays déterminent la puissance de celui-ci car l'acier et la base de toute industrie.

Les composantes principales de ces fonds sont produits (laminés pièces coulées en acier et pièces coulées)

Un produit sidérurgique d'une qualité conforme est l'issu d'ensemble des propriétés qui rend le métal apte à l'emploi auquel il est destiné, dans un environnement sécurisé. La recherche de la qualité est devenue une condition essentielle pour que l'entreprise soit compétitive, il est donc nécessaire donc faire des recherches pour une amélioration continue.

L'état de surface est une caractéristique de la qualité essentielle pour les tôles (minces et épaisses) laminé à chaud et des problèmes à considérer lors de laminage des bandes et l'éventuelle apparition des défauts. Cependant, la métallurgie nous fait savoir que les caractéristiques des aciers sont liées avec leurs structures (nature, dimension, morphologie et répartition des constituants) et leurs compositions chimiques. La structure étant elle-même liées à la composition chimique et aux traitements chimiques et aux traitements que subit l'acier.

On entend par laminage à chaud, une déformation plastique. Du point de vue de la science des matériaux, la déformation à chaud se produit dans la plage de température de recristallisation et de recuit des matériaux, c'est-à-dire au-dessus de la moitié du point de fusion.

Ce qui fait l'importance du laminage, la continuité du procédé, la haute productivité et l'obtention d'une gamme de profilés de haute qualité.

### **I.2. DEINITION DE LAMINAGE :**

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne déférence matériaux comme le métal, cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre 2 cylindres tournants dans des sens opposés appelés laminoir. Un laminoir est une installation industrielle ayant pour but de mettre en forme le matériau (la réduction d'épaisseur).

Il permet également la production de bandes profilées. Son principale avantage et d'améliorer les caractéristiques mécanique dans le sens de l'étirement changer la structure et les propriétés du métal.

Le laminage à chaud est une technique très puissante de mise en forme et dont les applications sont nombreuses, une très grande partie des matériaux métalliques est

soumise à un formage par laminage à un moment ou un autre de son cycle de fabrication. Bien que le mot laminage évoque plus spécialement les produits plats (plaques, tôles, large plats) de nombreux autres procédés de laminage sont utilisés pour obtenir d'autres géométries dont certains sont simples (fils, ronds, barres) de nombreux autres procédés de laminage sont utilisés pour obtenir d'autres géométries dont certains sont simples (fils, ronds, barres), ou complexes (rails, poutrelles, profilés divers, tube sans soudure).

La mise en forme à chaud concerne en principe les opérations de déformation plastique effectuées à une température absolue  $T > 0.5 T_f$  désigne la température absolue de fusion commençante du matériau (la température ambiante peut être une haute température pour le matériau considéré cas du Pb  $T_f = 54c^\circ$ )

Le laminage à haute température permet donc la mise en forme facile dans les conditions économiques, de grandes quantités de matières. Le produit laminé est, suivant le cas d'un produit fini (qui sera utilisé dans ce cas) ou un demi-produit qui suivra d'autres étapes de fabrication (traitement thermique, usinage ...) avant utilisation.

Lorsque le produit obtenu par laminage à chaud est utilisé à l'état brut de laminage, la mise en forme doit permettre d'obtenir à la fois les caractéristiques mécaniques et les paramètres technologiques souhaités, c'est-à-dire que le laminage est alors un véritable traitement thermomécanique. [1]

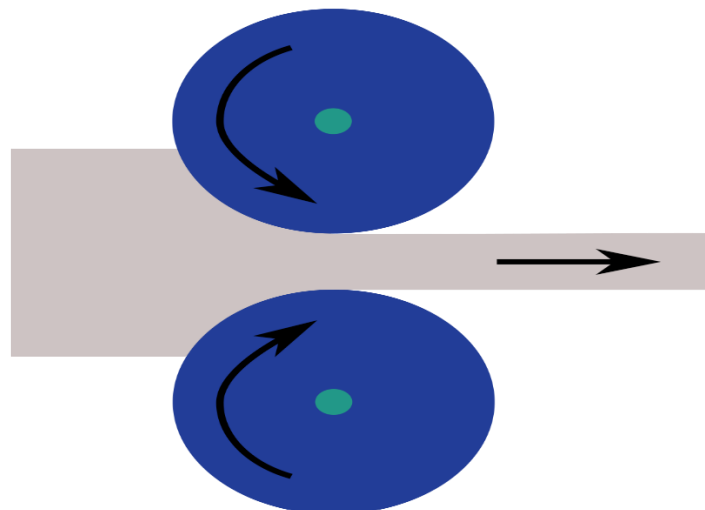


Figure 2 : laminage.



### 1.3. HISTORIQUE :

Carl Belchen, Laminoir à Neustadt-Eberswalde, huile sur bois, vers 1830. De petits laminoirs à main furent utilisés le XV siècle.

Les premières installations importantes, actionnées par roue à eau, apparaissent au XVII siècle. Il faut attendre l'arrivée de la machine à vapeur pour que la pratique du laminage des métaux prenne un essor important.

Depuis, le laminage est devenue une activité à part entière qui doit beaucoup aux expériences réalisés à la **Tredegariron and Coal Compagnie** (en) en galles du sud en 1905, ou il avait été décidé de concevoir un laminoir complet permettant de laminier à chaud, en continue, une bande de 200 mm de large.

Parmi les trouvailles important réalisées à partir de 1900 on doit citer :

- ⇒ Des fours en continu.
- ⇒ Des grues électriques.
- ⇒ Des cisailles volantes capables de couper les bondes en longueurs prédéterminées dès qu'elle sort des cylindres à une vitesse de 900m/min.
- ⇒ Des guides usinés.
- ⇒ Des bobines conçues pour enrouler à vitesse élevée.

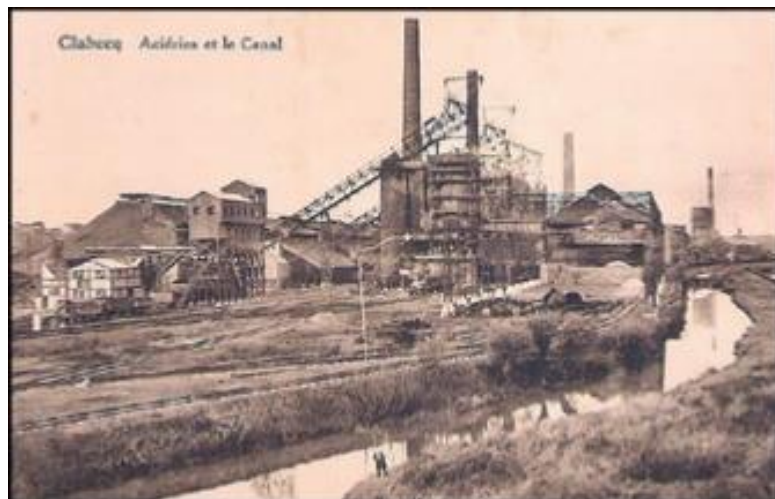
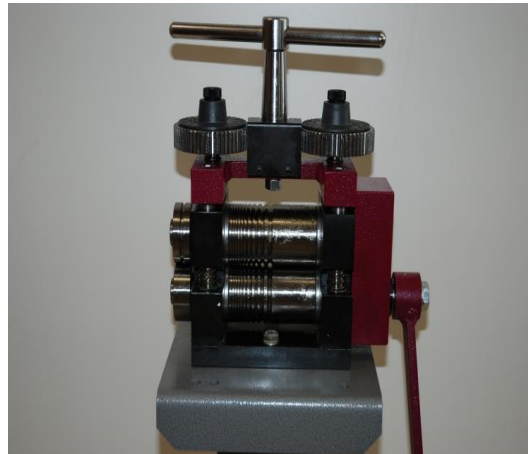


Figure 3 : vue d'un ancien laminoir.

**I.4. TYPOLOGIE DES LAMINOIRS :**

Laminoir continu.



Laminoir à main.

*Figure 4 : laminoir continue, laminoir à main.*

Il existe nombreuse types de laminoirs :

- Laminoir des produits plats
- Laminoir industrielle pour les métaux
- Laminoir à papier
- Laminage à verre de produire les verres imprimés colorés ou non utilisé dans l'aménagement inférieure, les vitrages occultant et la décoration.
- Laminoir des produits longs.
- Laminoir universels (métaux)
- Laminoir en cannelures (métaux)
- Laminoir à fils, fils industriels (cuivre par exemple)
- Laminoir de bijouteries.
- Laminoir à rouleaux conique : pour le formage des roues pour le chemin de fer
- Laminoir à pâtes alimentaires : pour toutes les nouilles plates y compris les lasagnes.
- Laminoir de boulangerie / pâtisserie : pour les pâtes à tartes, la pâte feuilletées et à croissants.

Cet article est dédié au laminage de l'acier dans l'industrie sidérurgique. [2]

**I.5. LAMINOIR A CHAUD :**

Le laminage à chaud a pour but de mettre en forme le matériau. Son principal avantage est la modification des caractéristiques mécaniques dans le sens de l'étirement.

Le laminage à chaud peut provoquer une décarburation par ailleurs, il se forme une couche noire d'oxyde, voire de calamine, qui est enlevée par la suite, ce qui modifie l'état de surface dans le cas des tôles, la couche est souvent enlevée par acide, la tôle a donc dans ce cas une rugosité plus importante qu'une tôle laminée à froid.

Comme tous les procédés à chaud, il importe de maîtriser le cycle thermique afin de maîtriser la microstructure.

Le laminage à chaud est également propice à une recristallisation dynamique, les produits laminés à chaud sont donc en générale moins dure que les produits laminés à froid (avant traitement thermique) [3]

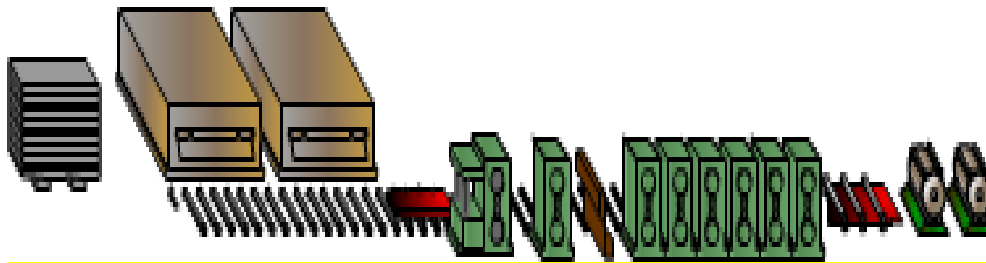
**I.6. LAMINAGE DES PRODUITS PLATS :**

Il existe plusieurs types de laminoirs dans l'industrie sidérurgique :

- Laminoir à plaque (plat mille) pour les produits de quelques mètres de largeur et de longueur et de plusieurs millimètres d'épaisseur ;
- Laminoir dégrossisseur (roughing mille) pour la réduction d'épaisseur des brames sans besoin de précision : transforme en produit issu de l'aciérie (la brame, sorte de pavé d'acier de 10 cm d'épaisseur) en coil (bobine de métal enroulée à chaud) ayant une épaisseur de 2 cm maximum ;
- Laminoir vertical (Edger) pour la mise en largeur des produits.
- Laminoir dégrossisseur.
- Train à froid.
- Réversible à froid.

### Principe

Le principe de laminage est celui de faire passer dans deux cylindres tournants de sens inverse un produit.



*Figure 5 : Laminoir à chaud.*

Après le passage dans un four de réchauffage qui porte les brames à température de 1300 C°, le métal est acheminé sur des rouleaux motorisés. Progressivement, par un passage successif dans des cages équipées des cylindres refroidis à l'eau le métal perd en épaisseur et gagne en longueur : [4]

### Composition :

Une cage de laminoir est composée de :

- Un jeu de cylindre de laminage
- Une partie de cylindre dits « de travail » entre lesquels le matériau est allongé.
- Les cylindres de travail sont en fonte rectifiée d'une autre partie de cylindre dits « cylindres d'appuis » (un cylindre de chaque côté de la partie de cylindre de travail) pour réduire la déformation des cylindres de travail.
- Les cylindres d'appuis sont en acier
- Les deux anneaux métalliques maintiennent ensemble les cylindres (un anneau de chaque côté)
- Les efforts considérables exercés sur les cylindres au cours du laminage provoquent une surépaisseur au milieu de la bonde, ce défaut est souvent compensé de deux façons :
  - Lors de la rectification des cylindres de travail, on donne à ceux-ci un bombé qui compense la surépaisseur.
  - La composition peut être dynamique grâce à un système de contre flexion ou cambrage, souvent hydraulique, qui permet de compenser le défaut quasiment en temps réel.

En sortie de laminoir, la bonde peut être soumise à un arrosage d'eau qui lui confère des propriétés proches de celle de la trempe, pour éliminer les défauts de planéité de la

bonde, celle-ci peut passer au travers d'une planeuse, constituée des rouleaux disposés en quinconce d'avant en arrière et de haut en bas, le serrage de ces rouleaux est dégressif de l'entrée vers la sortie de la machine, en fin de ligne le métal est enroulé sur des bobineuses.[5]

Un laminoir composé d'une seule cage est souvent un laminoir réversible, si plusieurs cages se succèdent, on parlera d'un train de laminage. De plus si le produit est en prise dans plusieurs cages en même temps, on parlera d'un tandem (c'est le cas pour la production de longues bandes d'acier ou les trains de 4 à 9 cages), les premiers laminoirs continus (sans interruption entre les fours et les bobineuses). [6]

### **I.7. DESCRIPTION TECHNOLOGIQUE :**

#### **I.7.1. Représentation de l'unité (LAC)**

le laminoir à bandes à chaud est un laminoir semi continu comprenant trois fours de réchauffage existant, qui servent à chauffer les brames à la températures de laminage, la cage refouleuse (edger) brise oxyde et la cage dégrossisseuse Duo, permettant de réduire les brames en ébauche par passer successives (en mode réversible), le train finisseur à 6 cages quarto, servent à réduire les ébauches à l'épaisseur de la bonde, la table à rouleaux d'évacuation et le système de refroidissement laminaire, ou la bonde est refroidie à la température de bobinage approprié, les deux bobineuses existantes et une nouvelle bobineuse à trois rouleaux, pour la mise en bobine de la bonde.

Le laminoir à chaud est composé de 04 secteurs :

- Parc à brames (PAB).
- Atelier de rectification de cylindres (ARC).
- Fluide.
- Train à chaud (TAC).

##### **I.7.1.1. Parc à brames (PAB) :**

Le PAB s'occupe de la réception des brames, stockages et l'alimentation du train à chaud. La figure suivante montre une vue de ce parc. Le parc à brames sert de stock tampon entre l'amont – l'aciérie et la coulée continue – et le train, qui reçoit lui-même ses commandes de l'aval constitué par les différents clients du train – usines à froid et clients directs –. S'il n'y avait aucune contrainte de programmation, les deux flux, amont et aval, seraient parfaitement coordonnés, et le stock intermédiaire serait très faible. En réalité, les contraintes de production de la coulée continue et celles du train à bandes ne sont pas les mêmes, et un stock tampon est nécessaire si l'on veut obtenir la production maximale de l'ensemble :

Les contraintes de l'aciérie conduisent à regrouper les coulées, En fonction de l'analyse visée et de la largeur de brames, ainsi qu'à faire les séquences les plus longues possibles (par exemple, regroupement de quatre poches ou plus de 250 à 300t) ;

- le flux aval est fixé par les contraintes de laminage avec des Programmes de l'ordre de 2 000 à 3 000 t (et pouvant aller jusqu'à 5 000 t).

L'objectif est de regrouper les bobines par groupes dimensionnels de largeur ou d'épaisseur, suivant un processus de fabrication particulier, appelé le cône de laminage (« coffin » en anglais).

Au début du montage, le profil du cylindre doit être « stabilisé » en usant progressivement la partie où passe la bande. Celle-ci doit ensuite passer sur la partie centrale en évitant la zone de transition où l'usure est irrégulière. Cela est réalisé en passant en premier quelques bobines de faible largeur ; la largeur est augmentée.

On distingue trois types de brames représentée sur le tableau ci-dessous :

<i>Type de brame</i>	<i>Courte</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Large</i>
<i>Dimension</i>			
<i>Epaisseur (mm)</i>	180-220	180-220	180-220
<i>Largeur (mm)</i>	600-1350	600-1350	600-1350
<i>Longueur (mm)</i>	1750-2600	2600-5100	5100-9000

Donc le parc à brame s'occupe de la réception des brames, stockage, gestion et alimentation du train à chaud des brames.

Le PAB est composé de deux Hall de stockage : Hall A et Hall B.

- **La Hall A** : réception des brames programmables (6000T-12000T).
- **La Hall B** : réception de toutes les brames.

Le transfert de l'ACO1 vers le PAB se fait selon un programme de fabrication, les brames les brames réceptionnées de l'ACO1 sont stockées dans le Hall B, alors un agent fait le contrôle des brames suivant une fiche mère brames et avise pour l'accord le service programmation, les brames seront transportées ainsi vers le Hall A et placés dans des gisements dont chaque pile aura par la suite à la programmation pour établir un programme de laminage (respectons ainsi le cône de laminage). [7]



*Figure 6 : vue d'un parc à brame.*

#### I.7.1.2. Atelier de rectification des cylindres (ARC)

L'ARC est un atelier qui alimente le train à chaud en matière de cylindres d'appuis et de travail en cages quarto et finisseuses, pinch-roll bobineuses et couteaux cisailles tout en leurs assurant une bonne préparation (rectification et révision des empoises).

Son but principal est de réduire la rugosité des cylindres et donner une surface lisse et homogène. La figure suivante montre une vue de la rectifieuse. [8]



*Figure 7 : vue d'une rectifiées.*

## I.7.1.3. Fluides (FLD)

Le secteur fluide alimente le laminoir à chaud en matière de :

- Eau industrielle et potable,
- Gaz naturel,
- Oxygène
- Azote
- Vapeur.

Il est composé de 02 salles des pompes :

□ **Salle des pompes N°1 :**

**Bâche 1 :**

- Circuit refroidissement fours
- Circuit réfrigérant
- Circuit refroidissement moteur
- Le circuit fours se compose de 03 pompes G15, G16 G17, G14 [G14 groupe secours]
- Le circuit réfrigérant se compose de 03 pompes G10, G11, G12 et G13 [G13 groupe secours].
- Circuit eau moteur sert à refroidir tous les moteurs et tous les ventilateurs des moteurs au niveau TAC du four à la bobineuse il se compose de 03 pompes : G21, G22, G23

**Bâche 2 :**

- Circuit 4 bars
- Circuit 13 bars
- Circuit relevage château d'eau.

**Circuit 4 bars**

- Sert à refroidir les cylindres d'appui quarto et finisseuses, il se compose de 02 pompes G26, G24

**Circuit 13 bars**

- Sert à refroidir les cylindres de travail quarto et finisseuses, il se compose de 04 pompes G28, G29, G30 et G31.



**Circuit relevage château d'eau :**

- Il se compose de 02 pompes : G24, G25.

**Circuit 140 bars**

- Il se compose de 04 pompes alimenté directement du château d'eau avec pression initial de 2 bars : G18 A, G18B, G19, G20.

**Bâche hydro cyclone**

- Circuit relevage d'eau de la bâche hydro vers la station filtration, il se compose de 03 pompes G01, G02, G03.
- Circuit chasse canal qui sert à chasser toutes la calamine et toutes les autres chutes qui se trouvent au caniveau vers les hydro cyclones : G06, G07.
- Le retour d'eau 140 bars, 13 et 4 bars coule vers les caniveaux et il sera transporté jusqu'au bâche hydrocyclone ou s'effectue la séparation de l'eau des huiles et calamines. A partir de la bâche hydrocyclone l'eau va être envoyé vers la station de filtration ensuite vers les réfrigérants et en dernier lieu le retour vers la bâche II.

**Sale des pompes N°II :**

Elle se compose d'une seule bâche

- Bâche 3 : assure l'arrosage des bandes et le refroidissement de la bobineuse.

L'arrosage s'effectue par gravitation directement du château d'eau. (2 bars).

**I.7.1.4. Train à chaud (TAC)**

Le laminoir à bandes à chaud modernisé est capable de laminier les aciers ordinaires et quelques aciers spéciaux tels que BS1-2 destinés pour l'emboutissage ou X48- 52-60 destinés pour la fabrication des pipe-lines en épaisseur allant de 1.5 mm jusqu' à 15 mm et des largeurs de 650 mm à 1350 mm

Le train à chaud est composé de quatre zones :

- Zone Fours poussant,
- Zone Quarto,
- Zone Finisseuses,
- Zone Bobineuses.

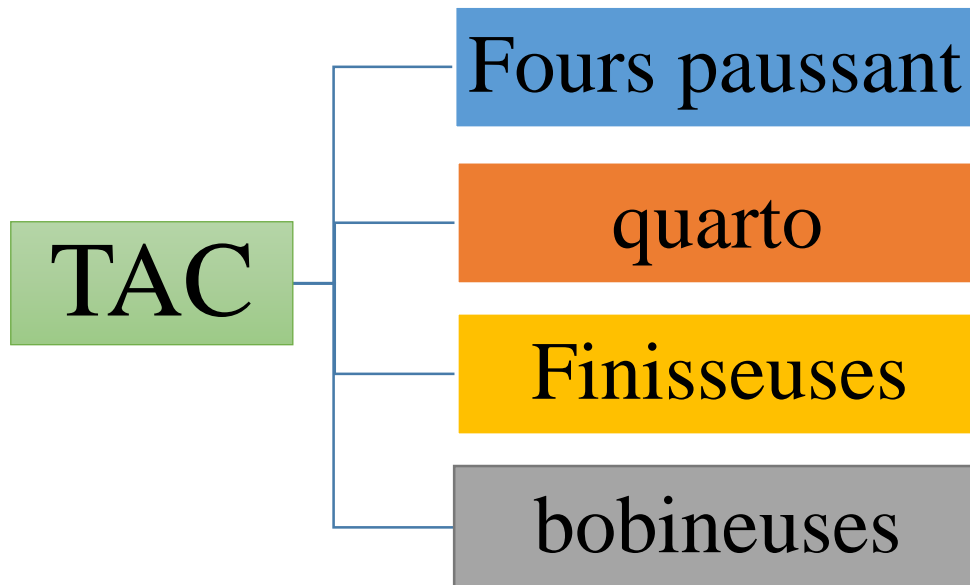


Figure 8 : les composants de TAC.

#### I.7.1.4.1. La zone des fours poussant

Dans deux fours poussant de capacité de 240 t/h, les brames sont chauffées à une température supérieure à 1250 °c pour assurer :

- Un adoucissement de l'acier en vue de son laminage (diminution de la résistance à la déformation).
- Une structure homogène (grains austénitiques et composition chimique homogène).
- Une dissolution des nitrures et des carbures. La figure 4 montre une vue du four poussant.

La zone four est composée de quatre sous zones :

- a) **Pas à pas**
- b) **Enfournement**
- c) **Fours de réchauffage**
- d) **Défournement**

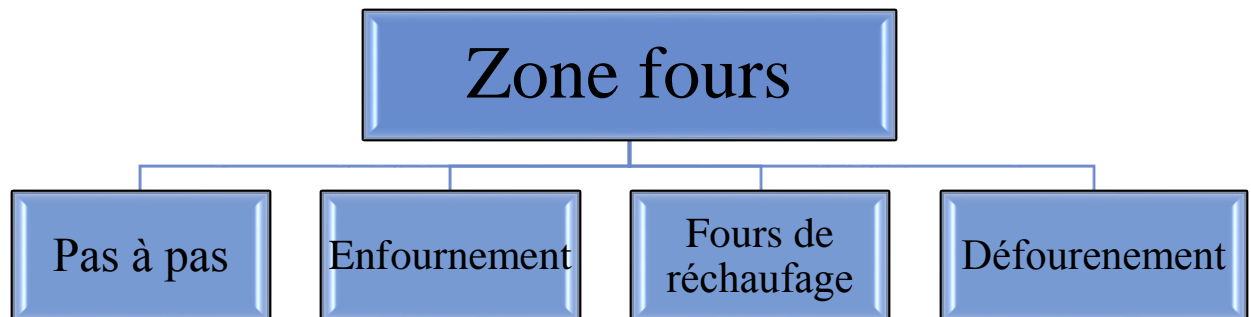


Figure 9 : organigramme de zone fours.

a) **Pas à pas** :

C'est la première phase de la zone fours, elle s'agit de réceptionner les brames du PAB par pile ou moyen des ponts roulant n° 401 ou 404 selon l'ordre de laminage.

Son rôle principal est d'avancer les piles avec longeron mobile (par un système hydraulique) et déposer les brames sur la voie rouleaux K1 avec pont dépileur/semi-portique avec trois électro-aimants. (Pour les brames courtes : aimant central et pour les brames moyennes et longues : aimant extrêmes). L'opérateur du pas à pas contrôle les brames venant du parc à brames selon :

- État de la brame.
- Type d'Acier.
- Numéro de coulée des brames.
- Dimensions des brames.



Figure 10 : un électro-aimant.

b) **Enfournement :**

Les brames reçues par le parc à brames sont transmises aux fours à l'aide du pas à pas (un semi portique), une table K qui se compose de 5 sections K1 à K5 dont chaque section comporte 12 rouleaux, ensuite les sections (K3.1, K3.2 et K5.1, K5.2) comporte 6 rouleaux de chaque et enfin une pousseuse qui enfourne les brames.

L'opérateur d'enfournement contrôle visuellement les brames selon le type d'acier, les dimensions et le numéro de coulé.

L'enfournement se fait par une pousseuse comporte 2 sections chaque section composée de 3 doigts, qui est amenée à partir de sa position d'attente ; contre la brame en position d'enfournement qu'elle pousse alors contre la rangée de brame qui se trouve dans le four. La rangée est ainsi poussée à travers le four jusqu'à ce que la brame de tête soit en position de défournement.

Le tableau ci-dessous démontre l'emplacement des brames enfournées sur les skids, tout en respectons les longueurs des brames.

<b>Longueur</b>	<b>Emplacement des brames sur le skids</b>
$3500 \leq L \leq 4500$	<i>Deux skids centraux (max 8 brames courts)</i>
$5100 \leq L \leq 6900$	<i>Trois skids</i>
$3500 \leq L \leq 9000$	<i>Quatre skids</i>

Tableau 2 : les emplacements et les longueurs des brames.

- Lors l'emplacement des brames sur les skids, il faut mettre en considération que la porte à faux ne doit dépasser 1250 mm
- En cas d'un mouvement long des pousseuses, l'enfourneur doit contrôler l'avancement des brames (risque d'un blocage).
- En cas d'un chevauchement d'une brame à plusieurs reprise ; annuler cette dernière.

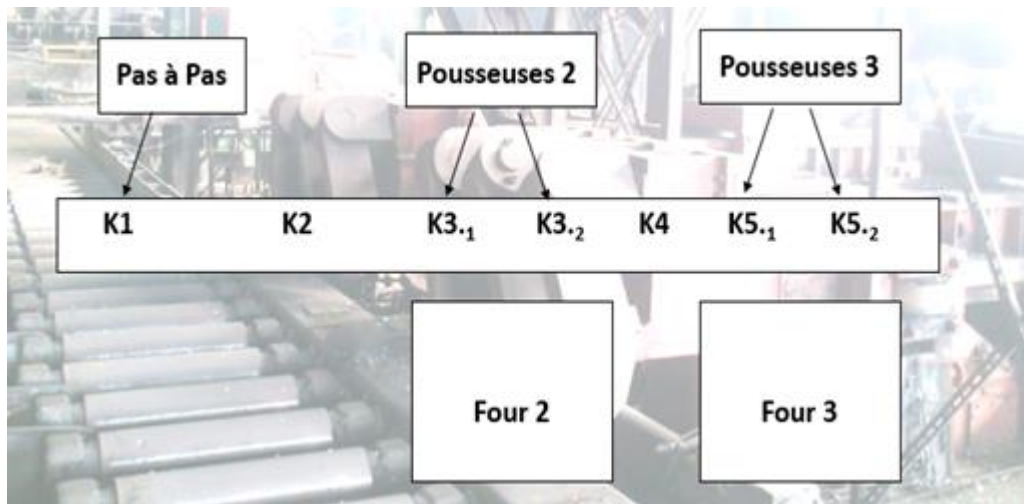


Figure11 : phase enfournement.

c) **Fours de réchauffage :**

□ **Description :**

Les fours poussant 2 et 3 du LAC sont conçus pour chauffer les brames avec du gaz naturel. Il doit son nom de poussant au fait que les brames sont enfournées d'un côté et avancent le four en poussant la dernière brame enfournée ou moyen du four s'accompagne du défournement d'une autre à la sortie.

□ **Caractéristique Fours :**

- Capacité avec brames de référence : 240 t/h
- Brames de référence : 9000x220x1350 mm
- Température de défournement : 1250° à 1350°C
- Tolérance entre deux faces : → ±40°c

□ **Dimensions intérieures du four :**

- Longueur utile : 32,5 m
- Longueur du sol : 10m
- Largeur intérieure : 9,80m
- Hauteur intérieur : 4,70m
- Hauteur (Skids voûte) : 1,8m

Les deux fours principaux de combustion sont le gaz naturel et l'air.

- Un poste de détente pour assurer l'alimentation du four par le gaz naturel.

□ **Combustible : gaz naturel**

- Débit max : 12680 Nm<sup>3</sup> = 8.45th/Nm<sup>3</sup>
- Pression entrée : 3bar
- Pression sortant : 60 Mb
- Déclenchement poste détente : 85mb

Le poste de détente se divise en trois (03) réanimateur

Deux ventilateurs d'air de combustion pour chaque four apportent l'air nécessaire à la combustion. L'air est aspiré à l'aide de grandes ventilateurs motorisés, ensuite il passe dans un collecteur puis dans des échange de chaleur ou il est chauffé à l'aide de la fumée, l'air chaud va nous permettre d'allumer le four. Un ventilateur d'air de dilution pour chaque four veille à la sécurité des récupérateurs en diluant les gaz fumés avec de l'air de refroidissement.

Nombre de ventilateur	02 par four
Débit	7000 Nm <sup>3</sup> /h
Pression	122.3 mb
Température	20 C°
Vitesse	1485 tr/mn
Puissance moteur	355 KW [mini 296 KW]

Tableau 3 : caractéristique ventilateur.

d) **Défournement :**

Le défournement des brames chauffées se fait par une défourneuse qui est constituée de deux parties effectuant au commun le mouvement de l'avance et de recul. En ce qui concerne le mouvement de lavée et descente, chacune des 02 partie de la défourneuse peut l'effectuée individuellement par l'intermédiaire de vérins hydrauliques.

Le cycle de défournement commence par ouverture suffisante de la porte du four pour permettre l'introduction des doigts du défournement dans le four (toujours une position fixe) ; ensuite, lorsque le porte est complètement ouverte la brame à défournée est soulevée (toujours position fixe). Une fois atteinte la fin de course de lavée, la défourneuse amène la brame vers le banc de rouleaux.

Les bancs de rouleaux W1 et W4 représente les brames amenées par les défourneuses et les acheminent en direction de cage BO ; le banc W5 a 02 fonctions :

- Reprendre du banc W4 les brames destinées au laminage et les transporter vers la cage BO.
- Reprendre les brames non destinées au laminage – les brames à étriquer ou trop froides et les positionner en vue de leur retrait par dispositif d'évacuation.

Rouleaux disposés en 5 sections [W1/W5]

W1 = 13 rouleaux [401/413]

W2 = 13 rouleaux [401/413]

W3 = 13 rouleaux [401/413]

W4 = 07 rouleaux [401/407]

W5 = 15 rouleaux [401/415]

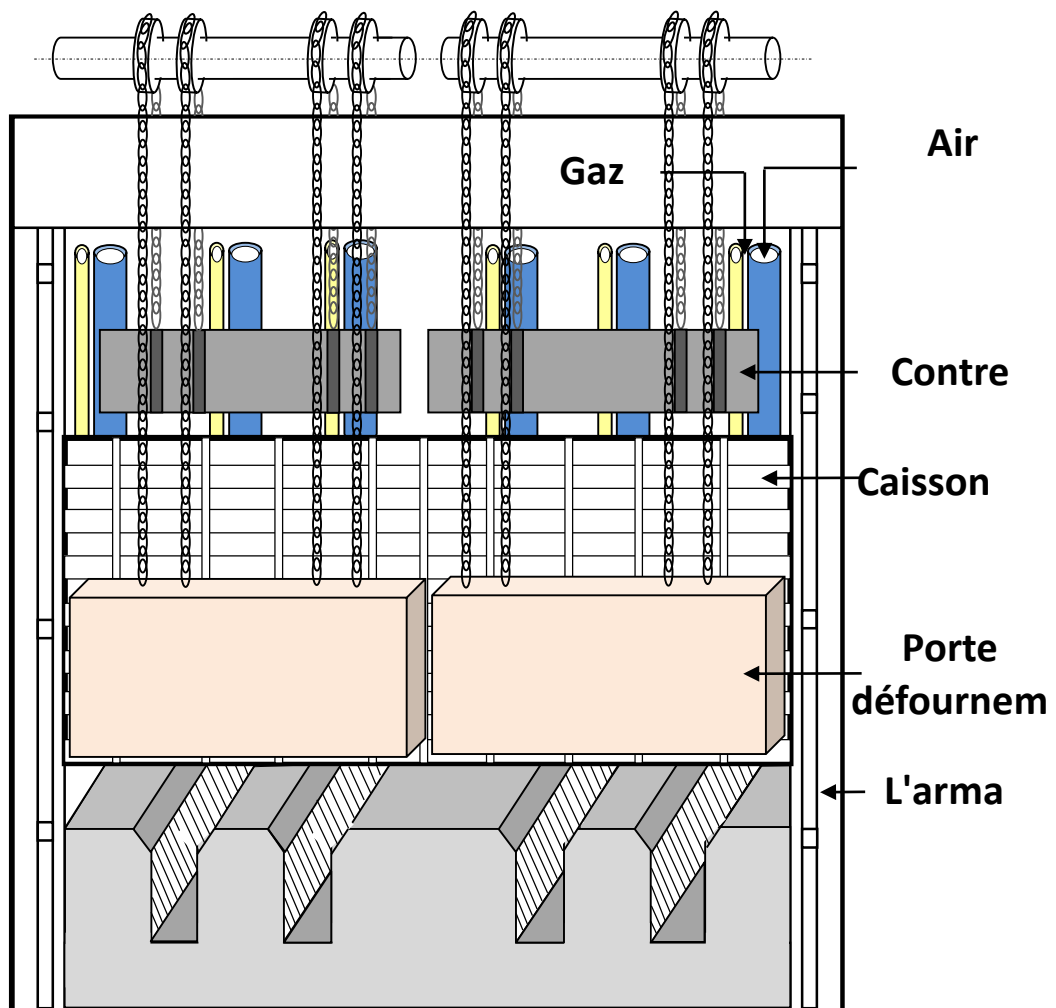


Figure12 : côté défournement.

Le chauffage des brames dans le four est réparti dans 07 zones différentes :

- **Zone préchauffage supérieur :**

Dans cette zone, on prépare les brames au chauffage dans une T° allant de 800°C à 900°C pour qu'elles ne subissent pas un choc thermique. Cette zone comporte 30 brûleurs orientés du haut vers le bas pour chauffer la partie supérieure de la brame.

Les différentes faces préchauffées de la brame

- ✚ Face supérieur de la brame : 800°C – 1000°C
- ✚ Face inférieur de la brame : 400°C – 600°C
- ✚ Face centrale de la brame : 200°C – 250 °C

- **Zone préchauffage inférieur :**

Elles sont au même niveau que la 1<sup>ère</sup> zone, ici on trouve 06 brûleurs latéraux c'est à dire 03 brûleurs de chaque côté pour chauffer les côtés latéraux de la brame

- **Zone de chauffage supérieur :**

Dans cette zone les brames sont amenées à T° voisine de 1100 °C à 1200°C à l'aide de 36 brûleurs.

Les différentes faces chauffées de la brame :

- a) face supérieure de la brame 1350°C
- b) face inférieure de la brame 1150°C
- c) face centrale au cœur de la brame 1100°C

- **Zone de chauffage inférieur :**

Elles sont au même niveau que la précédente sauf qu'ici on trouve 06 brûleurs en bas orientés horizontalement vers l'arrière.

- **Zone d'égalisation :**

Les brames dans cette zone sont amenées à une température de laminage vers 1250°C et la température sera homogène et égale dans tout le volume de la brame.

Il existe 24 brûleurs dans la partie haute de la brame.

- Face supérieure de la brame 1250°C
- Face inférieure de la brame 1250°C
- Face centrale de la brame 1250°C

- **Zone de maintien :**

On place 06 brûleurs à la sortie du four pour empêcher l'air froid d'accéder au four



▪ **Zone pour élimination de traces laissées par les skids :**

Il existe 04 brûleurs placés de façon pour éliminer les traces laissés par les Skids.

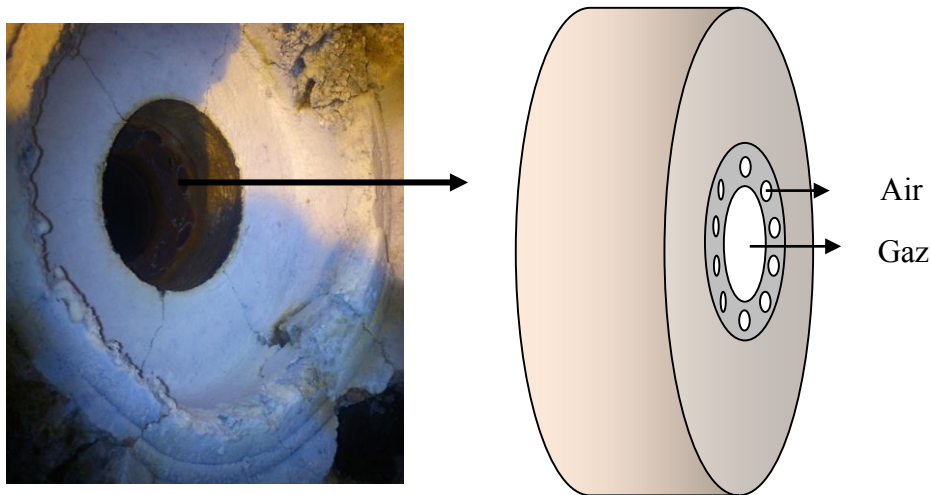


Figure13 : brûleur.

□ **Composants des fours :**

- ⇒ L'armature extérieure du four
- ⇒ Le caisson d'enfournement
- ⇒ Les portes d'enfournement
- ⇒ Les portes de défournement (système électromécanique avec un moteur – réducteur freinage mécanique – support contre poids)
- ⇒ Les conduites air/gaz
- ⇒ Les collecteurs les conduites de refroidissement
- ⇒ Les conduites air instrumentation / air comprimé/azote
- ⇒ Circuit d'inertie (azote)
- ⇒ Les vannes
- ⇒ Les skids
- ⇒ Les supports transversaux
- ⇒ Les chevalets
- ⇒ Les portes visites
- ⇒ Zone d'évaluation des gaz brûlés de 12 mètre (dégagement des fumés)
- ⇒ La sole d'égalisation
- ⇒ Les nez de fentes
- ⇒ Les thermocouples
- ⇒ Les carnaux de fumés
- ⇒ Les cheminés

Depuis la zone de sortie du four, les brames sont transférées au train dégrossisseur en poussant par une décalamineuse à eau à haute pression (140 bar).

En cas de panne de laminoir, les brames chauffées peuvent être retournées à la zone de stockage des brames sur un support situé entre le four 01 et le four 02.

#### I.7.1.4.2. La zone du train dégrossisseur :

La zone du train dégrossisseur se compose :

- Laveuse
- Cage brise-oxyde duo avec une cage refouleuse (EDGER) annexée
- Une cage quarto réversible avec une nouvelle cage refouleuse type lourd annexée
- Des tables à rouleaux des travaux des guides latéraux et des dispositifs de changement des cylindres de travail/d'appuis.

Le train dégrossisseur a pour but de laminier des brames provenant des fours en plusieurs passes pour les réduire aux dimensions (épaisseur et largeurs) nécessaire à l'engagement dans le train finisseur.

A sa sortie du four la brame est décalaminée dans la cage brise-oxyde et centrée par des guides latéraux d'entrée disposés devant la cage refouleuse brise-oxyde.

En fonction du programme en cours, les cylindres refouleuse et les cylindres de travail de la cage brise-oxyde sont réglés à l'entrefer requis, et la brame est laminée en une seule passe.

A la sortie de cage brise-oxyde, la brame est arrêtée sur la table à rouleaux de travail devant la cage refouleuse (EDGER), ou elle est centrée par les guides d'entrée. Les cylindres refouleuse et les cylindres de travail de la cage réversible sont réglés à l'entrefer requis en fonction de programme de laminage en cours.

Chaque cylindre refouleuse possède sa propre commande, les moteurs sont synchronisés par voie électrique et munis de contrôle de vitesse, de synchronisation et de position. Le réglage de l'entrefer sur l'EDGER est effectué de chaque côté par les vérins de réglage hydraulique réalisant la régulation automatique de largeur (AWC, pour automatique width control).

Les cylindres de travail de la cage dégrossisseur réversible sont entraînés par un moteur chacun (commande symétrique double). Le système de serrage est synchronisé mécaniquement est pourvue d'un instrument de mesure de la vitesse et l'entrefer. Après une passe, la brame est ralentie sur la table à rouleaux est centrée par des guides latéraux, puis accélérée un nouveau lors du retour vers la cage réversible pour nouvelle passe.

Entretemps, un système informatique effectue le réglage de l'entrefer (écart entre cylindres). Un convoyeur transversal à chaîne, disposé dans la zone de la table d'attente du train dégrossisseur et la cisaille, assure l'évaluation de l'ébauche, dans le cas de production des tôles.



Figure 14 : vue d'un quarto.

#### I.7.1.4.3. La Zone du train finisseur :

Le train finisseuse se compose de :

- La cisaille ébouteuse à tambour
- Des guides d'entrée réglables
- Une unité de décalaminage à rouleau pinceurs
- Six (06) cages refouleuse quarto
- Des tendeurs de boucles (loopers) hydraulique
- Du système de changement des cylindres
- Un système de commande principale du train finisseur

Dans cette zone l'ébauche provenant du train dégrossisseur est réduit d'épaisseur d'une bande finie, qu'alors mise en bobine.

L'ébauche provenant du train dégrossisseur réversible est introduite dans la cisaille. Lors de son passage dans la cisaille, la tête et la queue de l'ébauche sont éboutées automatiquement.

Après l'éboulement, l'ébauche est engagée dans la décalamineuse à rouleaux pinceurs, disposée entre la cisaille et la cage finisseuse F1, ou elle est débarrassée de la calamine secondaire qui se formée pendant son transfert depuis le train dégrossisseur.

Dans le train finisseur, l'ébauche est réduite à l'épaisseur de la bande finale.

Les cages finisseuses sont équipées d'un système de réglage hydraulique de l'emprise, permettant de réaliser à la fois le réglage de l'emprise et la régulation automatique d'épaisseur (HGC, pour Hydraulique Gauge Control). Les cages sont aussi équipées d'un système de cambrage des cylindres de travail, qui permet de réguler le profil et la planéité de la bande.

Pour adapter les lignes de passe aux changements de diamètre des cylindres de travail, on insère des cales de compensation sous les empoises des cylindres d'appuis inférieures.

Les cylindres de travail sont entraînés par deux moteurs qui transmettent à leurs tours la rotation via des allonges et des caisses à pignons. Les cages F1 et F5 sont en plus munies de motoréducteur conçus pour la transmission de couples importants.

Les cylindres de travail et les cylindres d'appuis sont changés par des vérins hydrauliques distincts.

#### I.7.1.4.3.1. Cisaille volante :

Environ à 6m en amont du train finisseur se trouve une cisaille à tambour rotatifs et à lames courbes en alliage spécial, pour couper les élongations en forme de queue de poisson de la tête et de la queue de l'ébauche. Les systèmes d'aboutage automatisés sont capables de détecter la forme à ébouter de façon à limiter les pertes en matériau. La cisaille à ébouter se compose des éléments principaux suivant :

##### □ Tambour de coupe

Les tambours de coupe assurent le maintien des lames, ils sont entraînés de façon synchroniser avec des roues à denture hélicoïdale ils assurent le maintien des lames de coupe par l'intermédiaire des pièces coniques de coincement.

Ils sont également équipés d'un système permettant le démontage rapide des lames. Ce système est composé de piston de rappel. On alimente les pistons à l'aide d'une pompe hydraulique leur mouvement libère des pièces coniques de fixation des lames. En position de travail, le maintien des lames est assuré par des rondelles ressorts. Durant le défilement de la bande, les tambours passent par 02 positions

- Une position d'attente, lames horizontales.
- Une position de réparation de coupe, (lames horizontales)-55°C

##### ✚ Tambour de coupe inférieur

Il est solidaire de l'accouplement PV, il est fixe en translation et il entraîne le tambour de coupe supérieur.

##### ✚ Tambour de coupe supérieur

En marche normal, il est entraîné par le tambour de coupe inférieur en mode de réglage. On agit sur les tambours de 02 façons.

- Avec un moto-réducteur hydraulique débrayable on fait tourner les tambours vers leur position initial de réglage le moto-réducteur entraîne le tambour par conséquent le tambour inférieur.

- Avec une autre moto réductrice qui permet de déplacer le tambour supérieur on ajuste le jeu entre les lames de coupes.

#### I.7.1.4.3.2. Décalamineuse secondaire :

Le décalaminage sert à enlever la couche d'oxyde qui se forme sur l'acier au-delà de 560°C. La présence excessive de calamine entraînerait des défauts sur la bande finie, ce qui déclasserait le produit. La décalamineuse travaille avec deux rampes de gicleurs de chaque côté, projetant l'eau à une pression de l'ordre de 140 bars pour une bonne amélioration de la surface de l'ébauche et l'augmentation de la durée de vie des cylindres de travail. Les rampes sont capotées pour que l'eau d'arrosage sous pression ne soit pas projetée vers la cage du laminoir ou vers la cisaille.

Cette décalamineuse joue le rôle de rouleaux de spire à l'entrée du finisseur puisqu'il n'y a pas de table à rouleau entre cisaille et première cage finisseuse.

#### I.7.1.4.3.3. Train finisseur :

Le train finisseur se compose de 06 cages qui réduisent l'épaisseur selon un taux de réduction décroissant de l'ébauche de la cage F1 jusqu'à F6, ses cages sont des cages à 4 cylindres (2 cylindres d'appui et 02 cylindres de travail) placées aussi proches que possibles les unes des autres.

L'écartement des axes entre cages dans la pratique est de 5.5 à 6m, ses cages sont commandées par des moteurs individuels, leurs puissances sont de 1800 à 6000 KW (2500 à 6000 cv).

Ces moteurs sont des moteurs à courant continu dont les vitesses sont coordonnées pour éviter la traction de la bande ou un bouclage excessif de celle-ci entre cages.

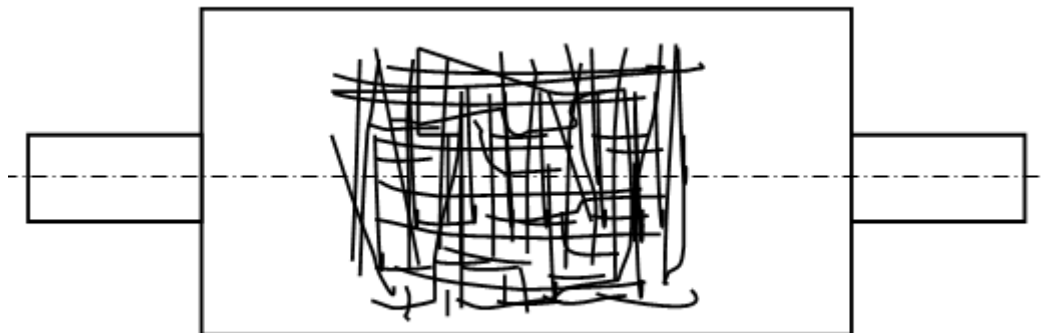
L'équipement inter cage ; tels que les tables, les guides et les (loopers) est disposé entre les cages finisseuses. Celles-ci sont généralement des cages quarto. [9]



Figure15 : vue des cages finisseuse.

#### I.7.1.4.3.4. Refroidissement des cylindres de travail dans le laminoir à chaud :

Les cylindres de travail constituent les outils du procédé de laminage et doivent donc être traités avec un soin particulier. Les contraintes thermiques doivent être compensées par refroidissement pour éviter les criques dues à la chaleur Et maximiser la durée d'une campagne de laminage. Les criques dues au choc thermique causeraient des défauts de surface sur la bande. La sensibilité aux criques dépend de la longueur du contact. De plus, le profil des cylindres de travail est d'une grande importance pour réaliser la régulation de profil et de planéité. Il faut donc tenir compte du bombé des cylindres, qui peut être influencé par le refroidissement de ceux-ci. [10]



#### I.7.1.4.4. Table d'évacuation, refroidissement et zone de bobinage.

La dernière étape dans le procédé de laminage à chaud est la mise en bobine. La bande est guidée par des guides latéraux et par un rouleau pinceur vers le mandrin de la bobineuse, où elle est prise par les rouleaux enveloppeurs et appliquée légèrement sur le mandrin.

L'installation est composée de 03 bobineuses, chaque bobineuse est composée

- Guides entrée
- Table à rouleau et règles de centrage au-dessus de la bobineuse
- d'un groupe de pinch-roll ou rouleau pinceurs
- d'un chariot extracteur
- d'un culbuteur bobines
- d'un chariot transporteur bobines (type « C »)
- d'un élévateur qui dépose la bobine sur un convoyeur

Au-dessus de chaque bobineuse, il y'a une table à rouleau située juste à l'entrée qui permet à la bande d'arriver à la bobineuse au moyen d'un système de règles latérales de centrage équipées avec 4 disques fous de centrage (2 pour chaque règle).

La fonction du groupe pinch-roll est celle d'entraîner la bande jusqu'à la bobineuse, pendant la phase d'introduction, et de retenir la bande quand elle quitte la dernière cage. La bande déviée par un déflecteur, qui est commandé par un vérin pneumatique, entre dans la bobineuse où les rouleaux presseurs se trouvant autour du mandrin pressent sur la bande même en permettant la formation des premières spires bien serrées.

Après que la bobineuse est mise en traction, les rouleaux presseurs peuvent être reculés si l'épaisseur de la bande est mince ; au contraire ils peuvent rester pressés sur la bobineuse pour assurer un bobinage bien serrée da la bande. Dans ce cas après avoir positionné correctement la queue de la bande à la fin du bobinage, les rouleaux viennent reculés

Un élévateur incorporé dans le chariot extracteur est soulevé jusqu'au contact de la bobine et suit la contraction du mandrin et le transport de la bobine jusqu'au culbuteur bobines. Ce dernier à la fonction de culbuter de 90° la bobine et de la déposer sur un chariot à « C » qui la transporte jusqu'à l'élévateur du convoyeur.



Figure16 : vue d'une Bobineuse.

#### I.7.1.4.4.1. les guides d'entrés.

Devant chaque bobineuse se trouvent des guides d'entrée qui servent à Centrer la bande pour faciliter son entrée aux rouleaux pinceurs. Et pour obtenir une bobine parfaitement enroulée (dans le cas contraire la bobine

S'enroulera en forme (télescopique) outre que cela les guides servent à redresser la bande quand elle arrive en dehors de l'axe de la table à rouleau et la maintenir sur ce même axe durant son bobinage.

Après être portés à la mesure les guides peuvent s'ouvrir pneumatiquement de 100mm encore pour permettre à la bande d'entrer même si elle arrive cintrée (désaxée), c'est après que la bande est engagée que ces derniers se referment automatiquement et reprennent la position prédéterminée Pour résoudre l'usure et aider la bande à s'engagée, les guides sont équipés de 04 disques tournant entraînés par moteurs et réducteurs.

#### I.7.1.4.4.2. Tables à rouleaux et règles de centrage au-dessus des bobineuses.

Cette table à rouleaux permet à la bande d'arriver à la bobineuse N°3, elle se compose de 11 rouleaux commandés individuellement.

Elle est équipée avec un système de règles latérales de centrage de la bande sur la table même. Sur les côtes de la table il y'a des disques fous de centrage (02 pour chaque côté).



**I.7.1.4.4.3. Rouleaux pinceurs-pinch-rolls.**

Les rouleaux-pinceurs ou pinch-roll ont pour fonction de faciliter l'entrée de la bande dans la bobineuse et de créer une tension entre lui-même et la 6<sup>ème</sup> cage et entre lui-même et mandrin afin d'assurer l'enroulement parfait de la bande

Le pinch-roll est constitué par 02 rouleaux qui sont montés de façon particulière, cette particularité a été rendue nécessaire du fait, du but qu'ils ont à accomplir : c'est à dire bien diriger la bande vers le centre de la bobineuse

- bien la tirer de la table à rouleaux
- la freiner par rapport au mandrin pour conserver la tension demandée dans leur travail, les rouleaux sont en contact avec la surface de la bande mais ils ne doivent apporter aucune modification à celle-ci.

**I.7.1.4.4.4. Bobineuse.**

La bande qui sort des finisseuses peut atteindre une longueur supérieure à 500mm (selon épaisseur) et il est évident qu'une telle tôle ne peut être stockée dans un dépôt, c'est pour cette raison et pour faciliter le regroupement de cette longueur afin d'avoir un bon emballage, une manipulation meilleure du produit qu'on a eu recours aux bobineuses qui, leur rôle n'est pas de faire subir une autre transformation au métal mais de l'enrouler en bobines seulement à vitesse de laminage des bandes avec une épaisseur de 1,8 jusqu'à 2,5mm (T°600°C)

**□ Description fonctionnelle (bobineuse)**

La bande avance sur la ligne puis est introduite par l'unité de rouleau pinceur dans la bobineuse pour permettre à cette dernière de réaliser une bobine.

La bobine est réalisée sur le mandrin de la bobineuse ; le mandrin est entraîné par un moteur à courant alternatif via une boîte de renvoi.

Aussitôt que l'extrémité de la bande est introduite dans la bobineuse par les rouleaux enveloppeurs et les coquilles disposées dans la zone entre les rouleaux enveloppeurs. Pendant la phase initiale du bobinage, une certaine tension de bande doit être générée et lorsque cette tension de bande est atteinte les rouleaux enveloppeurs et les coquilles sont rétractés.

Avant l'achèvement du bobinage (juste avant que la fin de la bande entre dans la bobineuse) les rouleaux enveloppeurs sont à nouveau rapprochés afin d'enrouler la fin

de la bande sur la bobine. Les rouleaux enveloppeurs sont chacun entraînés par un moteur à courant alternatif via une boîte de renvoie et un allonge à cardans.

La protection de la fin de la ligne est disposée au-dessus de la bobineuse et derrière l'unité de rouleau pinceur. Elle sert à dévier la bande de la ligne, lorsque la bobineuse n'est pas prête à être utilisée ; dans ce cas l'aiguillage des rouleaux pinceurs est fermé et la bande est guidée dans la protection de fin de ligne.

#### **I.7.1.4.4.5. Chariot extracteur bobines.**

Ce chariot se compose d'une structure portante supportée par 04 roues roulant sur 02 rails et il est donc à même d'effectuer un mouvement rectiligne horizontal (translation), étant commandé par un vérin hydraulique.

La partie supérieure de l'élévateur est dotée d'un couple de rouleaux de support sur lesquels la bobine s'appuie pendant la manœuvre d'extraction

Ce chariot a la fonction d'extraire la bobine de la bobineuse et de la transporter jusqu'au culbuteur bobines.

#### **I.7.1.4.4.6. Culbuteur bobines.**

Le culbuteur est constitué par une structure portante en forme de « L », se composant d'un plat de basculage (vertical en position de réception des bobines) et de 02 selles de soutien.

Il a la fonction de culbuter de 90° la bobine en la dépassant sur le chariot à « C » (axe trou bobine de la position horizontale à la position verticale).

Chaque selle de soutien est actionnée par un vérin hydraulique.

Les selles de soutien ont la fonction de supporter entièrement le poids de la bobine (position haute) transportée par le chariot-extracteur vient désengager et il peut retourner au-dessous de la bobineuse après que l'élévateur a été baissé. Le basculage est commandé par 02 vérins hydrauliques

#### **I.7.1.4.4.7. Chariot transporteur à « C »**

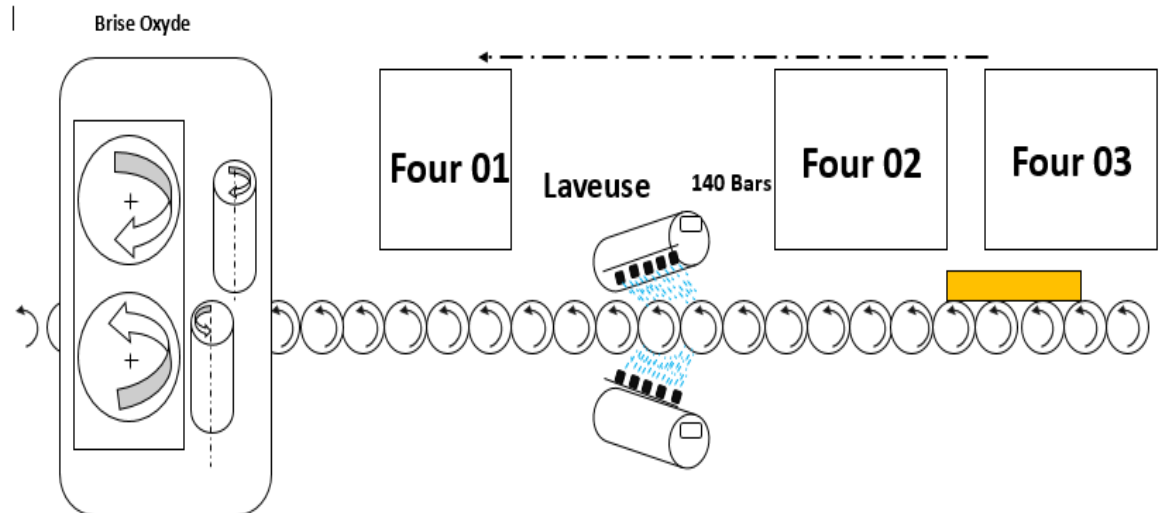
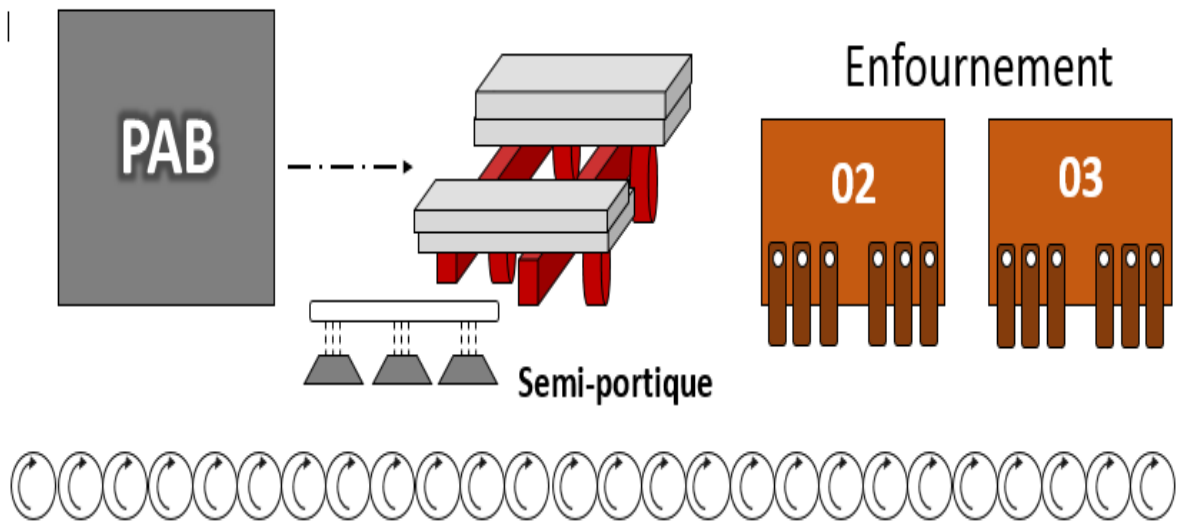
La bobine est disposée sur un chariot en forme de « C » doté de quatre roues glissant sur 02 rails et commande par 02 vérins hydrauliques.

Ce chariot a la fonction de recevoir la bobine du culbuteur et de la transporter à l'élévateur bobines de convoyeur.

**I.7.1.4.4.8. Elévateur bobine.**

Elévateur se compose d'une structure portante avec un corps mobile (commandé par un vérin hydraulique) et il est situé au-dessous du convoyeur de sortie. Le mouvement du corps mobile est seulement vertical. Il reçoit les bobines du chariot à « C » et en se soulevant jusqu'à l'extrémité supérieure, il dégage le chariot et en se baissant, il dépose la bobine sur l'élévateur.

Le système de refroidissement laminaire, disposé au-dessus et en dessous de la table d'évaluation, sert à refroidir la bande à la température de bobinage à approprier. Pour la sélection des modèles de refroidissement, l'opérateur a le choix entre deux modes, le mode manuel et le mode automatique assisté par ordinateur. [11]



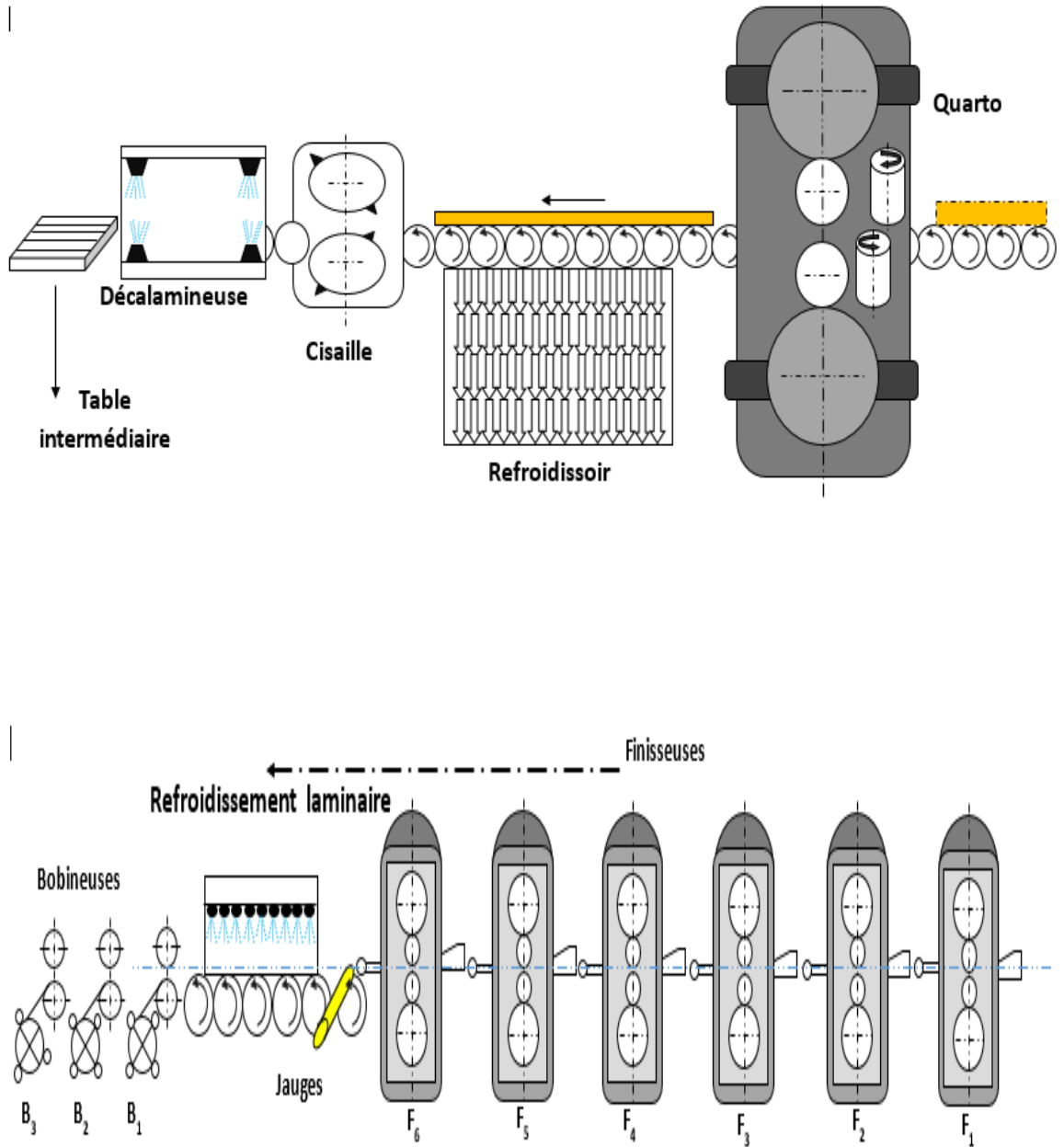


Figure17 : circulation du métal dans l'atelier.

# CHAPITRE II

## Défaut d'écaillage sur cylindre



## **CHAPITRE II : Défaut d'écaillage sur cylindre.**

### **II.1. INTRODUCTION :**

Le laminoir à chaud de SIDER EL HADJAR a enregistré une très grande consommation des cylindres de travail du train finisseur suite au défaut d'écaillage. L'objectif de cette recherche consiste à fixer les causes probables de cet écaillage accidentel et à y remédier. On va voir l'impact de différents paramètres de laminage sur l'endommagement des cylindres.

L'ajustement et le contrôle de ces paramètres de laminage pris en considération permettront de ramener la consommation des cylindres du laminoir à chaud.

La figure suivante montre une comparaison graphique de la consommation des cylindres d'Arcelor Mittal- Algérie durant les années de 2008 à 2010 ainsi que le premier trimestre de l'année 2011 où elle a dépassé les 15 mm/kt, bien que la moyenne du groupe (Arcelor Mittal) ne dépasse pas les 6mm/kt.

#### **□ Statistique du fait accidentel sur les cylindres de travail :**

La figure suivante montre une comparaison graphique de la consommation des cylindres d'Arcelor Mittal - Algérie durant les années de 2008 à 2010 ainsi que le premier trimestre de l'année 2011 où elle a dépassé les 15 mm/kt, bien que la moyenne du groupe ne dépasse pas les 6mm/kt

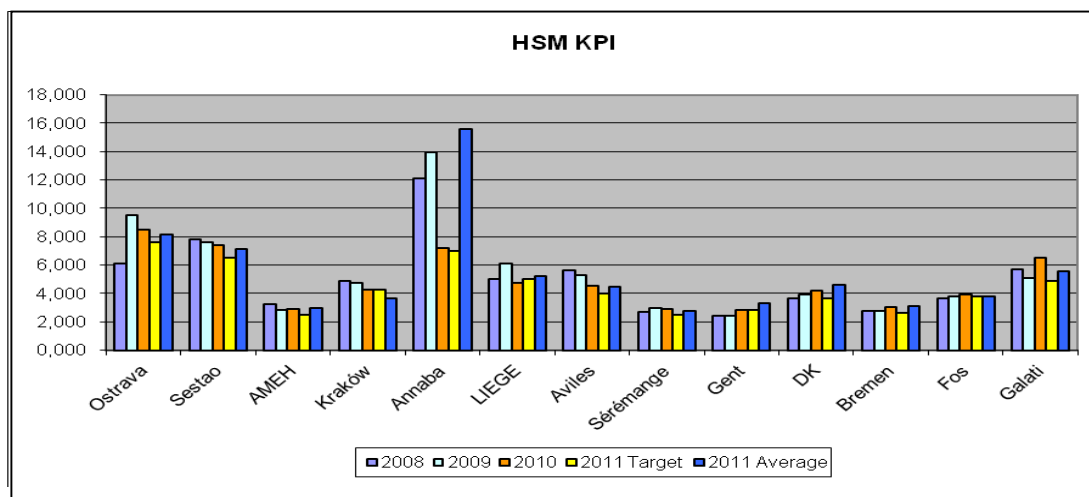


Figure18 : Consommation des cylindres Annaba par rapport au groupe T1 2011.

Dans le tableau suivant, on trouve tous les cylindres écaillés pendant l'année 2010 et le premier trimestre de l'année 2011.

La totalité des cylindres écaillés sont des cylindres en fonte à trempe indéfinie placés dans les cages 5 et 6.

MOIS	Nombre	Nombre des CYLINDRES	CAGE	Ø CYLINDRES	MM PERDU	DEFAUTS
JANVIER	0	0	0	0,00	0,00	–
FEVRIER	1	3176	F3	657,60	7,60	Ecaillage
MARS	1	83474	F6	704,60	54,60	Ecaillage
AVRIL	1	83705	F6	707,00	57,00	Ecaillage
		2962	F4	677,10	27,10	Ecaillage
MAI	3	83416	F5	679,70	29,70	Ecaillage
		2961	F5	688,00	38,10	Ecaillage
JUIN	2	2688	F5	690,00	41,10	Ecaillage
		83706	F5	698,17	48,17	Ecaillage
JUILLET	1	83283	F3	671,00	21,00	Ecaillage
AOUT	1	2959	F5	678,85	28,95	Ecaillage
SEPTEMBRE	0	0	0	0,00	0,00	0
OCTOBRE	0	0	0	0,00	0,00	0
NOVEMBRE	1	83290	F5	661,50	11,50	Ecaillage
		3100	F5	662,31	13,31	Ecaillage
		74507	F5	681,91	1,91	Ecaillage
DECEMBRE	6	83433	F6	687,61	37,61	Ecaillage
		2579	F5	655,35	5,35	Ecaillage
		83414	F5	690,58	40,58	Ecaillage
		83640	F5	693,80	43,80	Ecaillage
MOIS	Nombre	N <sup>o</sup> CYLINDRES	CAGE	Ø CYLINDRES	MM PERDU	DEFAUTS
	4	83395	F5	663,18	13,18	Ecaillage
		83451	F5	659,37	9,37	Ecaillage
JANVIER		3068	F5	711,14	61,14	Ecaillage
		74503	F5	651,82	1,82	Ecaillage
FEVRIER	1	2633	F5	708,78	58,78	Ecaillage
	CAF	109952	F5Sup	1367,58	97,58	Ecaillage
MARS	3	4440	F6	719,06	69,06	Ecaillage
		92330	F5	701,27	51,27	Ecaillage
		3069	F5	707,49	57,49	Ecaillage
	CAF	1407356	F6Sup	1407,43	137,43	Ecaillage

Tableau 4 : cylindres écaillées en 2010 et T1 de 2011.



L'écaillage de ces cylindres est de type sporadique comme il est montré sur la figure suivante. [12]



Figure 19 : écaillage sur cylindre N° 36657.

## **II.2. DEFINITION D'ECAILLAGE DES CYLINDRES :**

Contrairement aux piqûres, l'écaillage se manifeste par l'apparition de trous beaucoup moins nombreux, plus profonds et plus étendus. L'écaillage affecte la surface active du cylindre de travail en contact avec la bande laminé. La couche superficielle du cylindre a une dureté superficielle accrue et élimine ainsi le phénomène d'usure. L'écaillage résulte de l'action des forces de frottement entre la bonde laminé et le cylindre. [13]

***II.3. LES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉCAILLAGE :*****II.3.1. Ecaillage en éclat****II.3.1.1. Définition :**

Nous présentons dans ce qui suit quelques cas d'écaillage sous forme de col qui proviennent de l'effet de la fatigue. Selon la bibliographie, l'écaillage part de la profondeur et remonte à la surface extérieure du cylindre.

On peut voir l'intensité variable des sens de fatigue dans les zones profondes des écailles indiquant la direction de la propagation à partir du cœur vers la surface du cylindre.

Ces écailles surgissent à partir des couches (flocons) de graphites constituant le noyau des cylindres de travail et sont principalement localisés dans le centre du cylindre.

**II.3.1.2. Origine :**

Les fortes charges cycliques sont à l'origine la cause de l'écaillage dues à une importante réduction appliquée sur les bandes ayant des matériaux durs pour l'obtention de faibles épaisseurs.

Au-delà de la limite de fatigue, de nombreuses microfissures commencent à se former provoquant un affaiblissement progressif du noyau du matériau. Dans une seconde étape, ces microfissures se rejoignent et se propagent vers et à travers la coquille à la surface du cylindre en donnant lieu à un large et typique écaillage. Des hautes tensions extensibles résiduelles qui sont thermiquement induites dans le noyau lors de la fabrication vont favoriser ce type de dommages.

Longtemps avant l'écaillage catastrophique, la première étape de la faiblesse du noyau peut facilement être détectée à l'aide des tests ultrasoniques, la réduction de l'écho des parois indiquera l'affaiblissement du noyau du cylindre. Le matériau du noyau possède alors une force insuffisante de fatigue pour résister aux charges spécifiques de laminage, ceci est souvent considéré parmi les avaries de cylindres de travail.

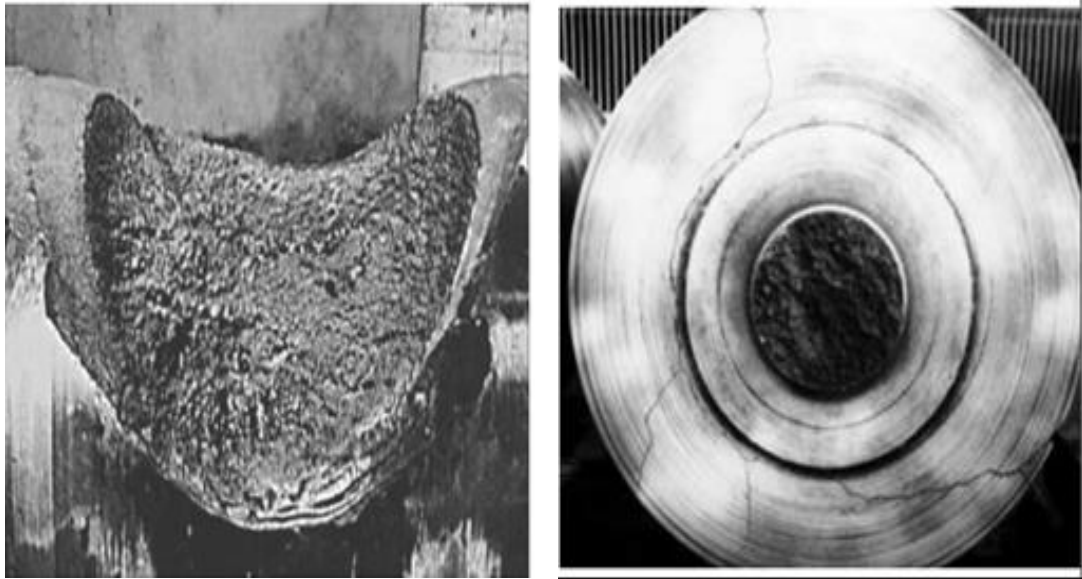


Figure 20 : écaillage en éclat.

## II .3.2. Eclat langue de chat.

### II.3.2.1. Description :

Dans la première étape, une ou plusieurs fissures sous pression sont formées dans une zone de surcharge au niveau ou près de la surface du cylindre, une telle fissure est souvent orientée parallèlement à l'axe du cylindre mais se propage dans un sens non radial. Dans la phase suivante une fatigue sous forme de langue de chat se propage progressivement dans une direction circonférentielle plus ou moins en parallèle à la surface du cylindre.

Le sens de la propagation des fissures est opposé au sens de rotation du cylindre. La propagation se développe à l'intérieur de la surface de travail (foyer de déformation) du cylindre, en augmentant progressivement en profondeur et en largeur, suivie d'une large écaille superficielle en recouvrant la surface du cylindre.

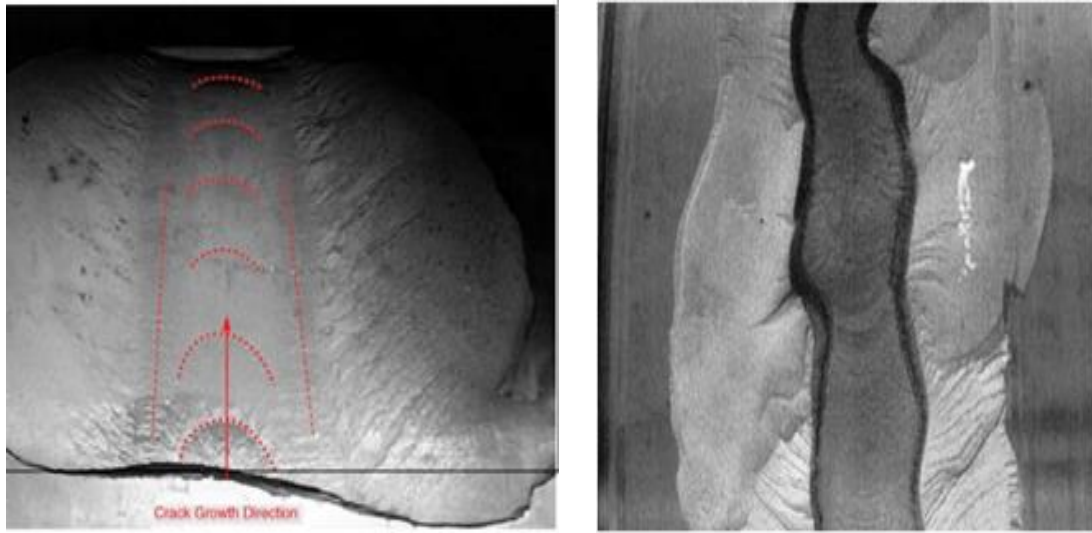


Figure 21 : Eclat langue de chat.

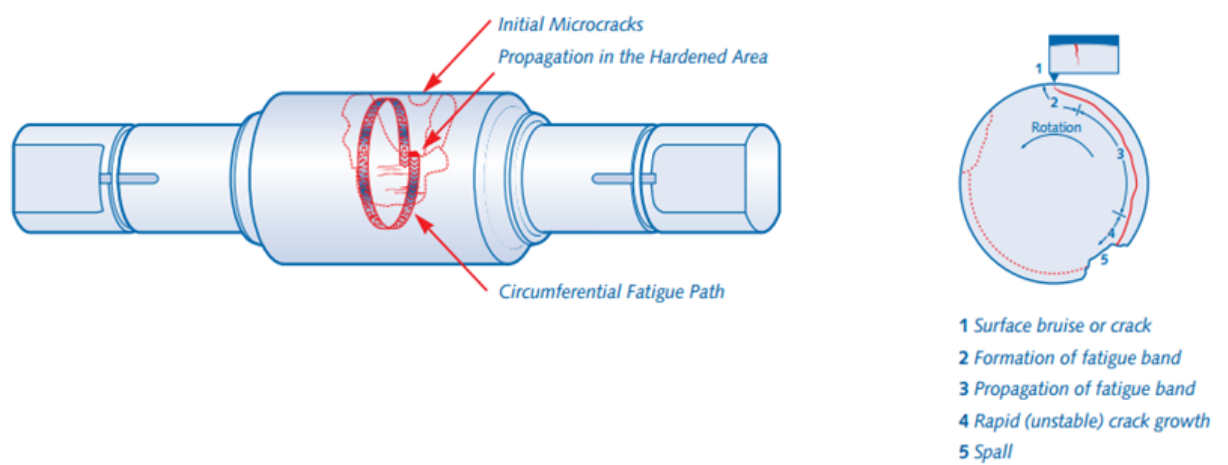


Figure 22 : éclat longue de chat.

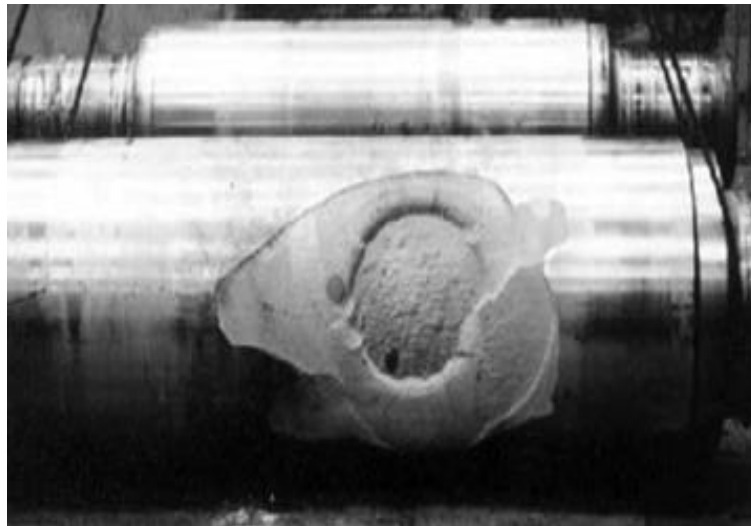
**II.3.3.2. Origine :**

De fortes charges internes aux bords des arrêtes, des pavés ronds ou le pliage (dédoublé ou pincement) de la queue de la bande, provoquent l'excès de la force de déchirement de la coquille et donnent naissance à la fissure, compte tenu de la fatigue du matériau, qui donnera lieu ensuite à la propagation des fissures provoquant l'éclatement spontané et massif du cylindre de travail. Les portées des profils sur les deux cylindres de travail et d'appui à travers de longues campagnes donnent lieu à des surcharges localisées et donnent des profils incorrects.

L'usage continu des allures des cylindres, les cylindres d'appui sans reliefs d'extrémité, les accidents qui surgissent au cours du laminage, les corps étranges, contribue à la formation des premières fissures au niveau des cylindres de travail, et ceci est considéré parmi les défauts des opérations de laminage.

**II .3.3. Interface Couche externe/Cœur (lien relatif aux éclats)****II.3.3.1. Description :**

Une large zone de la couche externe sépare du cœur en suivant la faiblesse de liaison d'interface pour atteindre une zone de forte liaison métallurgique. A ce stade, la fracture se propage rapidement vers la surface du cylindre résultant dans un large éclat (écaillage).

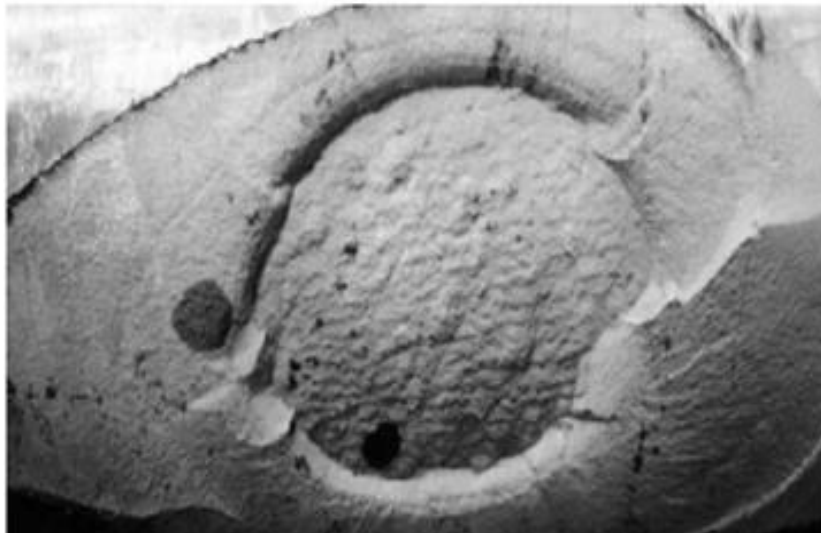


*Figure23 : écaillage interface externe/cœur.*

**II.3.3.2. Origine :**

Le but derrière la coulée des cylindres est d'atteindre une parfaite liaison métallurgique entre la couche externe et le cœur du métal. Pendant le cycle de la production du cylindre et pour une raison quelconque le lien est rompu entre la couche externe et le cœur, ce qui génère la faiblesse de la force de liaison tel que :

- Couche d'oxyde résiduelle entre la couche externe et le cœur.
  - La Présence du flux ou du laitier au niveau de l'interface.
  - Excès de carbure, micro porosités, des écailles de graphite ou des inclusions non métalliques tels que les sulfures. Les autres raisons de séparation entre couche externe et cœur peuvent être :
1. La surcharge locale excessive durant l'accident du laminage, ce qui initialise une séparation locale qui continue à grandir due à une propagation de fissure sous l'effet de la fatigue suivant l'interface couche externe/cœur jusqu'à l'atteinte d'une taille critique, ce qui donne naissance à un important écaillage secondaire spontané. Ce genre de dégâts peut avoir lieu même s'il n'y a pas de défaut métallurgique dans la zone de liaison.
  2. Excessives efforts de tension radiale dans la zone de liaison due aux conditions de température anormales (défaillance dans le système de refroidissement, colmatage, etc.). Ceci est normalement un défaut de cylindre si les défauts de liaison sont présents.



*Figure24 : interface couche externe/cœur.*

### II.3.4. Interface Couche externe/Cœur (insuffisance de la profondeur de la couche externe) :

#### II.3.4.1. Description :

L'interface entre la couche externe et le cœur du métal est complètement soudée mais la profondeur de la croute est insuffisante pour atteindre le diamètre de ferrailage du cylindre.

Le matériau du cœur qui contient plus de graphite et moins d'alliage est plus doux que celui de la couche externe apparaît en gris comme couleur. Comme l'interface suit le front de la solidification de la croute, les zones douces du cœur apparaissent au niveau de la surface du cylindre, vont être inégales et discontinues.



Figure 25 : insuffisance de la profondeur de la couche externe.

#### II.3.4.2. Origine :

La profondeur de la croute dépend d'un certains nombres de facteurs qui contrôlent le processus de la coulée par centrifugation tel que le poids du métal, la température de la coulée, et la notion du temps, c'est quand l'un des paramètres critiques ne se réunissent pas donc la profondeur nécessaire ne peut être obtenue. Ceci est un défaut de cylindre.

### II .3.5. Ecaillage des extrémités du cylindre :

#### II.3.5.1. Description :

La surface et/ou sous surface fissures ainsi que les écailles associés forment sur la table de travail du cylindre approximativement à 100- 300mm de l'extrémité de la table de travail dans une direction circonférentielle.

Ces fissures sont étendues vers le bord libre de la surface de la table de travail. Dans les cas extrêmes ces fissures peuvent aller dans les rayons du cou du cylindre. Cette fissure d'extrémité peut se coller sur le corps du cylindre ou s'éclater en large éclat.



*Figure26 : Écaillage des extrémités du cylindre.*

#### II.3.5.2. Origine :

Une pression excessive sur l'extrémité de la table de travail du cylindre renforcée par l'allure positif du cylindre de travail, le manque du relief de l'extrémité du cylindre d'appui, faible épaisseur (forme) de la bande laminée, bord épais ou faux paramétrage induisent une surcharge locale qui provoque l'excès de force de déchirure du matériau du cylindre. Une forme excessive d'usure due à la longue compagne cause des surcharges localisées au niveau des extrémités de la table de travail, qui favorisent la fissure initiale. Le laminage continu propage la fissure en sortant du bord libre, la défaillance alors nait. Ceci est un défaut de laminage.



### II.3.6. Bandes de crique à feu :

#### II.3.6.1. Description :

Relativement à la largeur de la bande et à l'arc du foyer de contact entre le cylindre et la bande laminée, l'apparition de ces fissures est du type mosaïque usuel, mais de plus grande taille de maille qu'un modèle de fusion conventionnel.

#### II.3.6.2. Origine :

Dans le cas d'un arrêt, la bande laminée peut rester en contact avec le cylindre de travail pour une durée importante. La température de la surface du cylindre augmente rapidement au niveau de la zone de contact, la chaleur ensuite pénètre profondément dans le corps du cylindre.

L'effet thermique induit dépasse l'effort de rendement du matériau du cylindre. Quand la bande laminée est enlevée et le cylindre sera élingué, la surface du cylindre se refroidit et due à la contraction de cette zone localisée, la surface commence à se fissurer, la gravité de la fissure dépend de la durée d'exposition du contact et le taux de refroidissement. Ceci est un défaut de laminage.

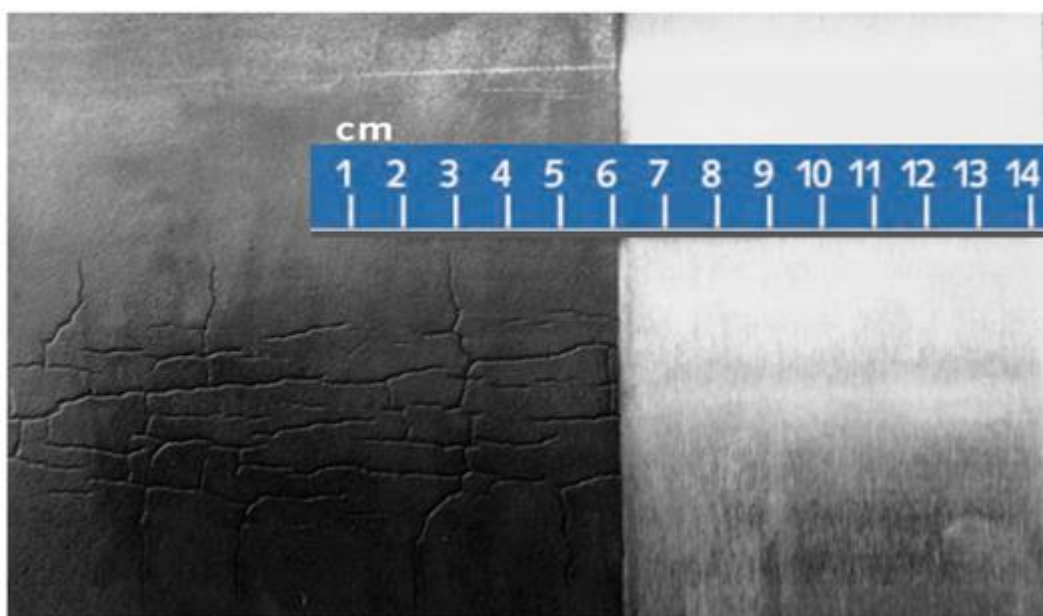


Figure27 : Bande de crique à feu.

## IV.7. Lignes de crique à feu

### II.3.7.1. Description :

De la bande circonférentielle sur la table de travail du cylindre, le cylindre montre des fissures orientées longitudinalement qui se propagent dans des plans radiaux.

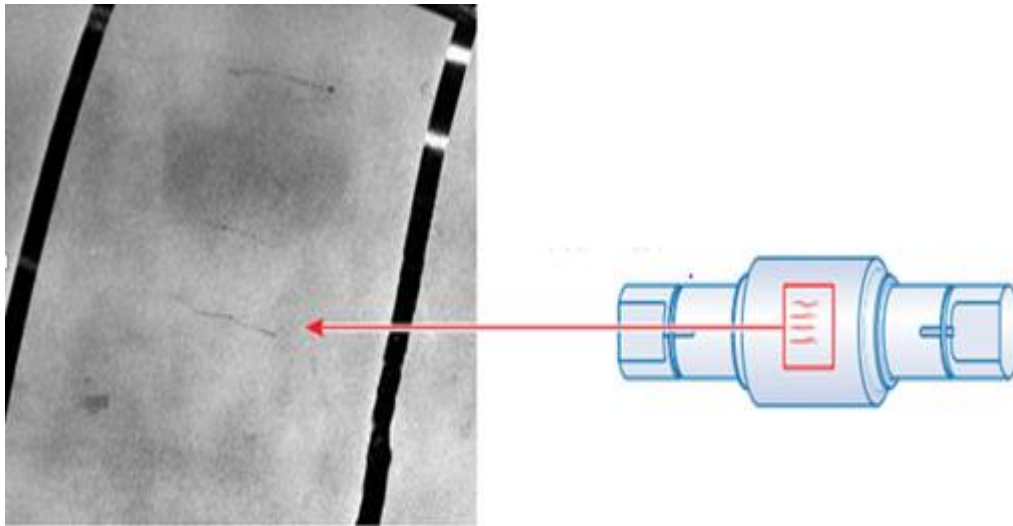


Figure28 : lignes de criques à feu.

### II.3.7.2. Origine :

Ce type de Fissure de surchauffe peut être initié en raison d'un manque de refroidissement, pour un bouchage instantané des buses de pulvérisation, due à la prononciation de la pénétration de chaleur dans le corps de cylindre, ces fissures de surchauffe sont beaucoup plus profondes que celles issues du coulé. Ceci est un défaut de laminage.

## II.3.8. faïençage de crique à feu

### II.3.8.1. Description :

Le cylindre montre dans des zones locales des criques à feu, parfois avec des indentations ou même l'effritement local.

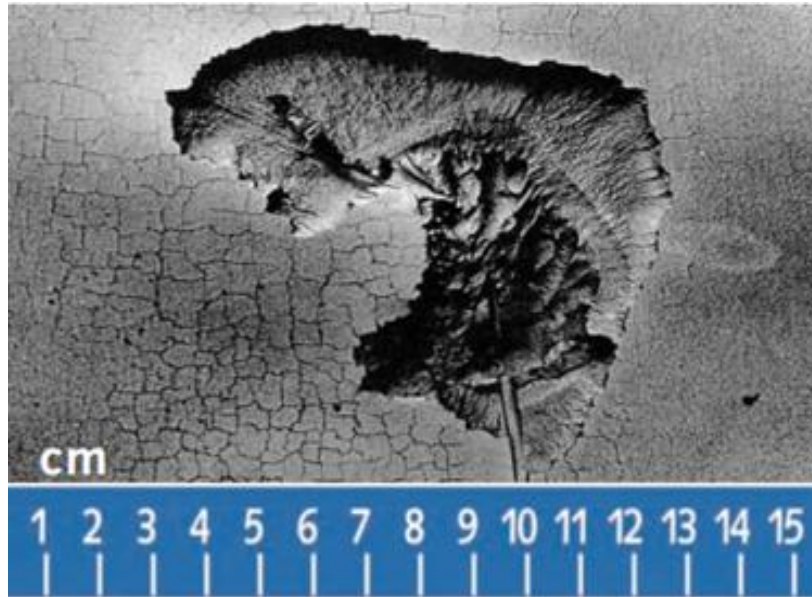


Figure 29 : faïençage des criques à feu.

### II.3.8.2. Origine :

Ces fissures surviennent lorsque la combinaison des contraintes mécaniques et thermiques dans ces zones locales passe au-dessus de la limite d'élasticité du matériau du cylindre, et sont exagérées lors du refroidissement ultérieur.

Les incidents de laminage tel que une contusion à l'impact, soudage de la bande, bord (rives) de la bande ou sertissage d'extrémité arrière (pincement) sont les raisons possibles de ce type de dommages.

La combinaison des criques à feu et les fissures de pression rend ce dommage très dangereux car il peut induire une fatigue de ruban ou même éclatement immédiat. Ceci est un défaut de laminage.

### II.3.9. Le défaut de standard surcharge de choc.

#### II.3.9.1. Description :

Le standard subit une défaillance d'une section transversale commençant généralement par le bas adjacent au cylindre. Le côté de fracture suit le rayon, puis continue dans le côté du cylindre, et coupe (cisailles) une partie de la face d'extrémité du cylindre.

**II.3.9.2. Origine :**

Dans des conditions de charge de choc, la charge maximale peut excéder la résistance à la flexion ultime de la matière de noyau et la rupture se produit, généralement à la surface de la section transversale la plus sollicitée. Dans le cas où un cylindre a été mal traité par une chute ou par une utilisation incorrecte de la table lors des changements de cylindre, les tourillons de cylindre seront soit fissurés ou tombés en panne plus souvent par une fracture. Le fait qu'un morceau de cylindre est fixé au standard indique une panne de détournement. Ceci est un défaut de laminage.

**IV.3.10. Défaut standard de fracture de flexion****II.3.10.1. Description :**

Les lignes de fracture commencent à partir de l'extérieur et réparties sur toute la section transversale, en particulier à partir de la zone de filet et très souvent après la propagation des fissures de fatigue.

**II.3.10.1. Origine :**

Cet échec résulte de charges de flexion élevées qui dépassent soit la résistance à la flexion ultime ou la force de la fatigue du standard. Il est généralement limité à 2-Hi cylindre de travail de tout grade dans les colonnes de laminoir à chaud. Ce type de fissure (rupture) peut être causé par :

- Des charges élevées de laminage combinées avec un design de cylindre faible.
  - Accidents de laminage avec des forces de flexion extrême.
  - Mauvaise qualité de cylindre concernant la force du standard.
  - Un effet d'entaille suite à un rayon de filet trop petit, des rainures circonférentielles.
- Des fissures de fatigue induites par la corrosion, etc. Ceci est soit un défaut de laminage ou de cylindre

#### IV.3.11. Défaut standard de couple de laminage

##### II.3.11.1. Description :

Le visage de fracture est incliné à l'axe de cylindre et peut montrer une fracture de cisaillement complète, qui constitue bien souvent une fissure sous forme de cône. Ce type de fracture se produit à la fin de conduite lancé de la section la plus faible, ce qui est souvent.

L'évidement de bague fendue, se propageant au centre de neck, ou de la racine du rayon de la fin bêche.

##### II.3.11.2. Origine :

Le couple sur l'extrémité de conduite a dépassé la résistance à la torsion de la matière standard. La force du standard sera également affectée par l'effet d'entaille de rayon forte, c'est à dire. Dans l'évidement de bague fendue, ou d'autres éleveurs de stress tels que les forages radiaux. La charge peut être normale pour le design et le fonctionnement de laminoir, auquel cas la matière de cylindre nécessite la mise à niveau ou la charge peut être en excès de fonctionnement standard de laminoir, qui est, à son tour, supérieure à la résistance à la torsion de matière de cylindre. Les surcharges sont expérimentées à travers une variété de circonstances :

- un décrochage de laminage suite à un «collage de brame »,
- Accidents de laminage tels que soudage de bande
- Un montage d'arbre de conduite incorrecte, soit par le laminage, ou par l'usinage incorrect de l'extrémité de conduite. Ceci est normalement un défaut de laminage. [14]

# CHAPITRE III

Paramètres influants

Sur l'écaillage des

Cylindres du

Laminage à chaud.



## **CHAPITRE III : Paramètres influents sur l'écaillage des cylindres du laminage à chaud.**

### **III.1. INTRODUCTION :**

Les sites d'endommagement (écaillage) des cylindres de travail peuvent être la table, les tourillons ou le raccordement tourillon-table, on limitera au cours de ce travail à l'analyse de la détérioration de la table des cylindres.

### **III.2. Méthodologie de travail :**

Diagramme ISCHIKAWA : c'est une méthode japonaise basée sur le principe que chaque problème est sûrement source d'une défaillance dans un des cinq (05) M, qui sont :

- **Machine,**
- **Milieu,**
- **Matière,**
- **Méthodes,**
- **Main d'œuvre.**

Donc on forme cinq arêtes autour de l'objectif et on développe les différentes sources de problème pour chaque M.

La planche suivante montre les principales causes qui peuvent conduire à l'écaillage des cylindres, bien que la recherche est trop vaste, on se limitera à développer l'influence de quatre paramètres qui sont : la température, la qualité des cylindres, les chocs mécaniques et les forces de cambrage.

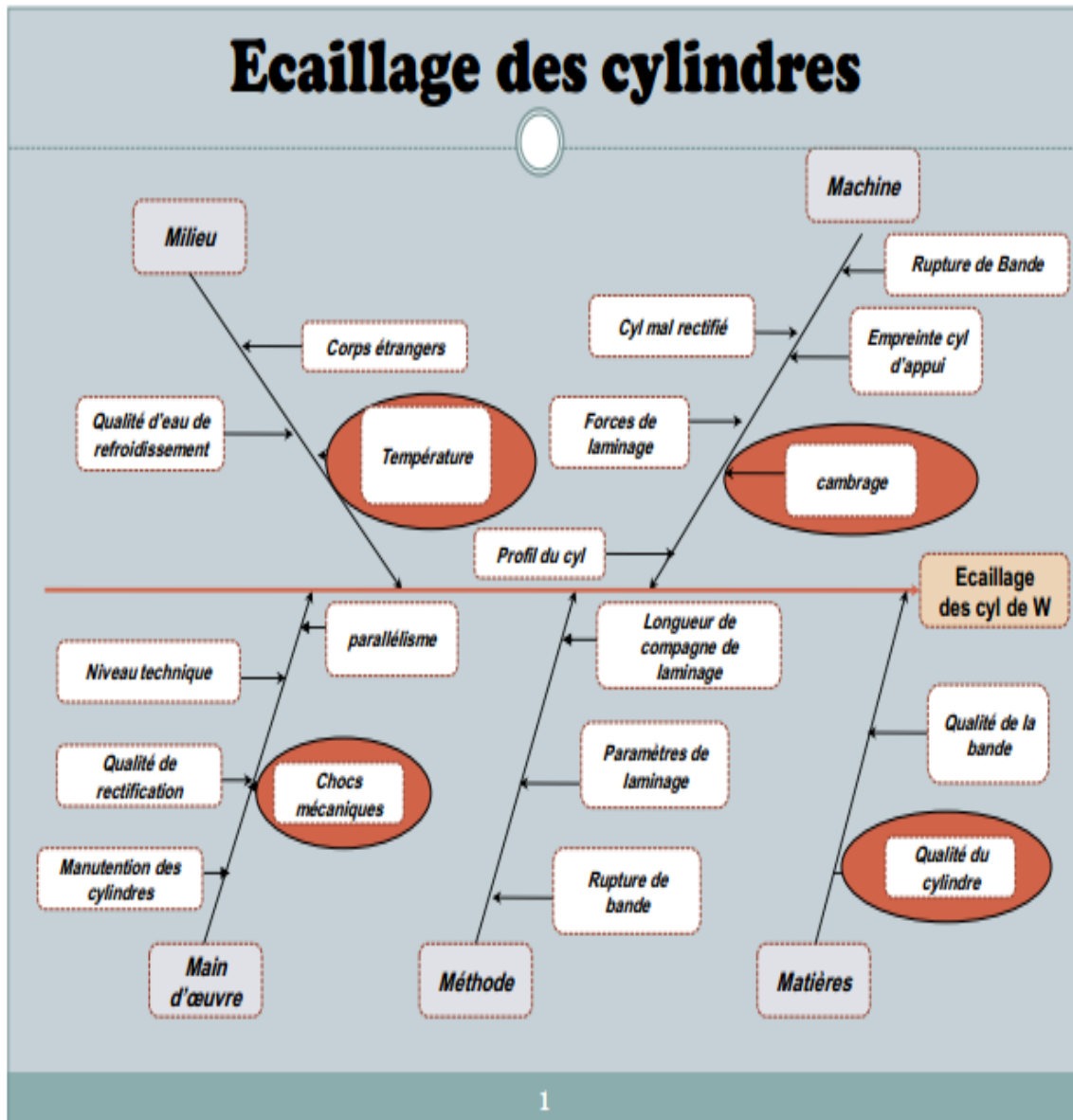


Planche 1 : paramètres influant sur l'écaillage des cylindres dans le laminage à chaud.



III.3. *influence de la température :*

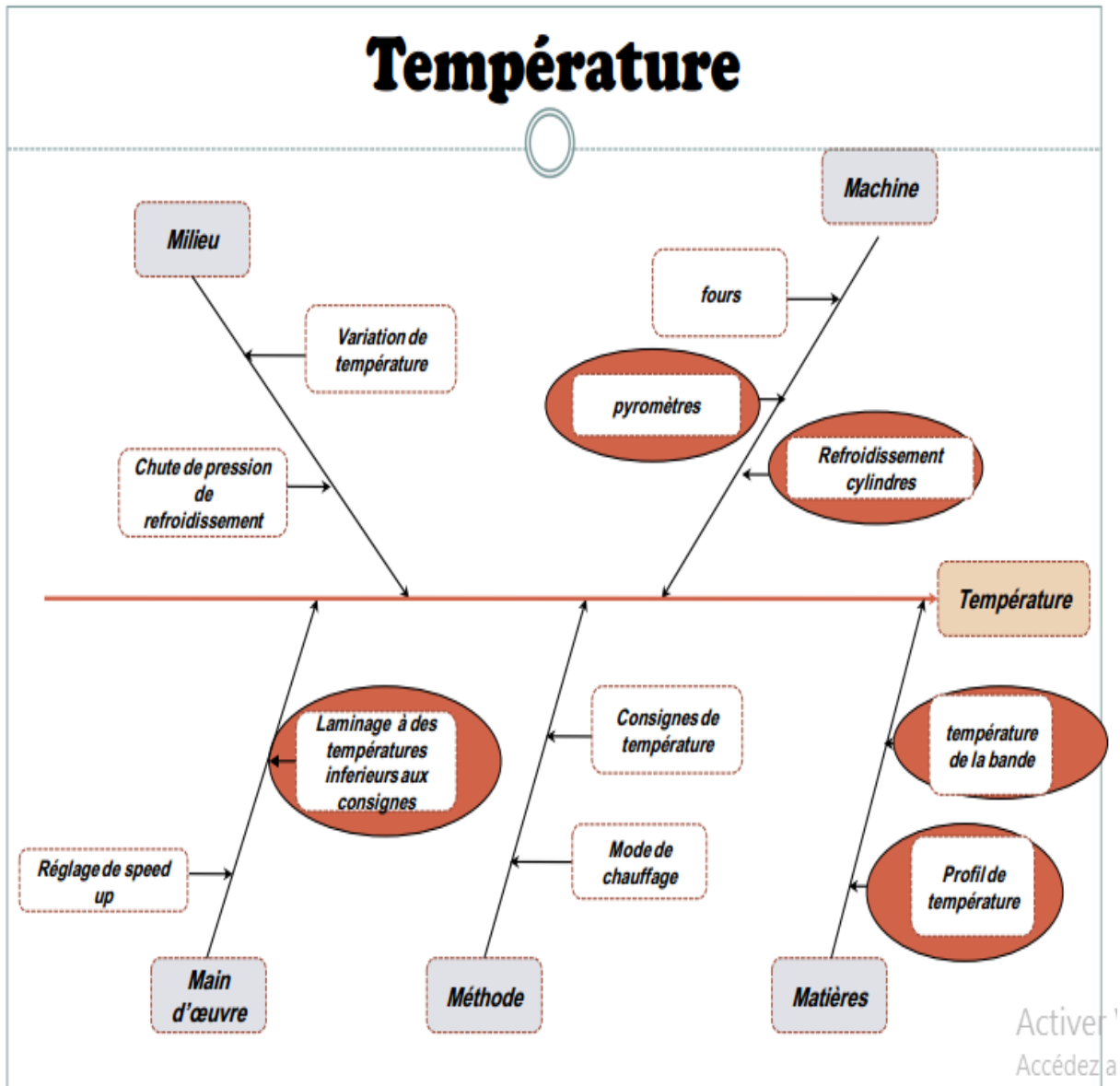


Planche 2 : paramètres influant sur température des cylindres dans le laminage à chaud.

II.3.1. Impact direct de la température :

Les sollicitations subies par les cylindres sont de nature diverse. Au cours de son service, le cylindre est sollicité de deux manières : mécanique et thermique.

Sous l'effet de la température et la qualité d'eau de refroidissement, les cylindres sont sollicités à deux types de chargement :

### II.3.1.1. Un chargement thermique

Dû au contact de la bande à laminier portée à une température voisine de 1100 °c et au refroidissement par jet d'eau très peu de temps après. Sous l'effet de la chaleur Ya il deux effets :

- **Effet superficiel, crique thermique :**

Au cours de laminage, la surface du cylindre est amenée à environ 600 °c, dès que la matière à laminier vient à son contact, une partie de cette chaleur est éliminée par l'eau de refroidissement qui peut être prévue et une autre partie est transmise par conduction dans le corps du cylindre. Ainsi la surface subit des fluctuations thermiques cycliques importantes et assez rapides tandis que le corps du cylindre s'échauffe plus régulièrement et plus lentement jusqu'à l'abaissement à un équilibre thermique.

Les variations thermiques de la surface du cylindre entre le contact de la bande laminée et l'eau de refroidissement, crée une contrainte de compression qui est normalement suffisamment élevée pour l'obliger à fléchir pour l'absorber à chaque fois que la partie chauffée se dégage de l'arc de contact ce qui lamet sous tension, tension qui peut être l'origine de la naissance des criques thermiques.

- **Rupture par contrainte thermique pendant la mise en température :**

La progression thermique générale qui s'accumule dans le corps du cylindre provoque un réseau de contraintes dans le cylindre qui peuvent atteindre un niveau dangereux particulièrement au début de laminage. Ce réseau de contrainte provient du fait que la partie extérieure du cylindre est chaude et a tendance à se dilater tandis que la partie interne, étant à une température plus basse, a moins tendance à se dilater. Une partie du cylindre est donc tirée contre l'autre, des parties du cylindre sont en tension tandis que d'autre

sont sous compression. Les éléments dangereux de ce réseau de contraintes sont ceux sous tension et dans les conditions de mise en température. La contrainte maximale en tension apparait le long de l'axe central du cylindre dans le sens longitudinal et a tendance à provoquer la rupture transversale du cylindre à partir de l'intérieur c'est-à-dire à le faire éclater.

### II.3.1.2. Un chargement physico-chimique :

L'agressivité du milieu de refroidissement du cylindre associé à l'évolution de la température de la surface du cylindre est à l'origine de l'oxydation du métal de la surface des cylindres. Cette oxydation peut conduire à de nouveaux types d'endommagements.

A chaque tour du cylindre le réseau de fissures thermiques qui s'était renfermé au contact de la bande s'ouvre de nouveau lorsqu'il se trouve brutalement refroidi. Ainsi

les faces internes s'oxydent et ceci d'autant plus profondément que l'arrosage est faible et mal réparti, c'est-à-dire que la température du métal est plus élevée.

Une analyse à la microsonde de ces produits d'oxydation dans le cas d'une fonte à haute teneur en chrome a permis d'identifier une multitude d'oxydes du type : FeO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, SiO<sub>2</sub>, MnO.

Lorsque les lèvres des fissures sont suffisamment écartées à cause des produits d'oxydation de la matrice, les oxydes de la bande laminée (calamine) peuvent s'introduire dans les fissures en favorisant le déchaussement en micro-écaillages du métal.

II.4. Influence de la qualité des cylindres :

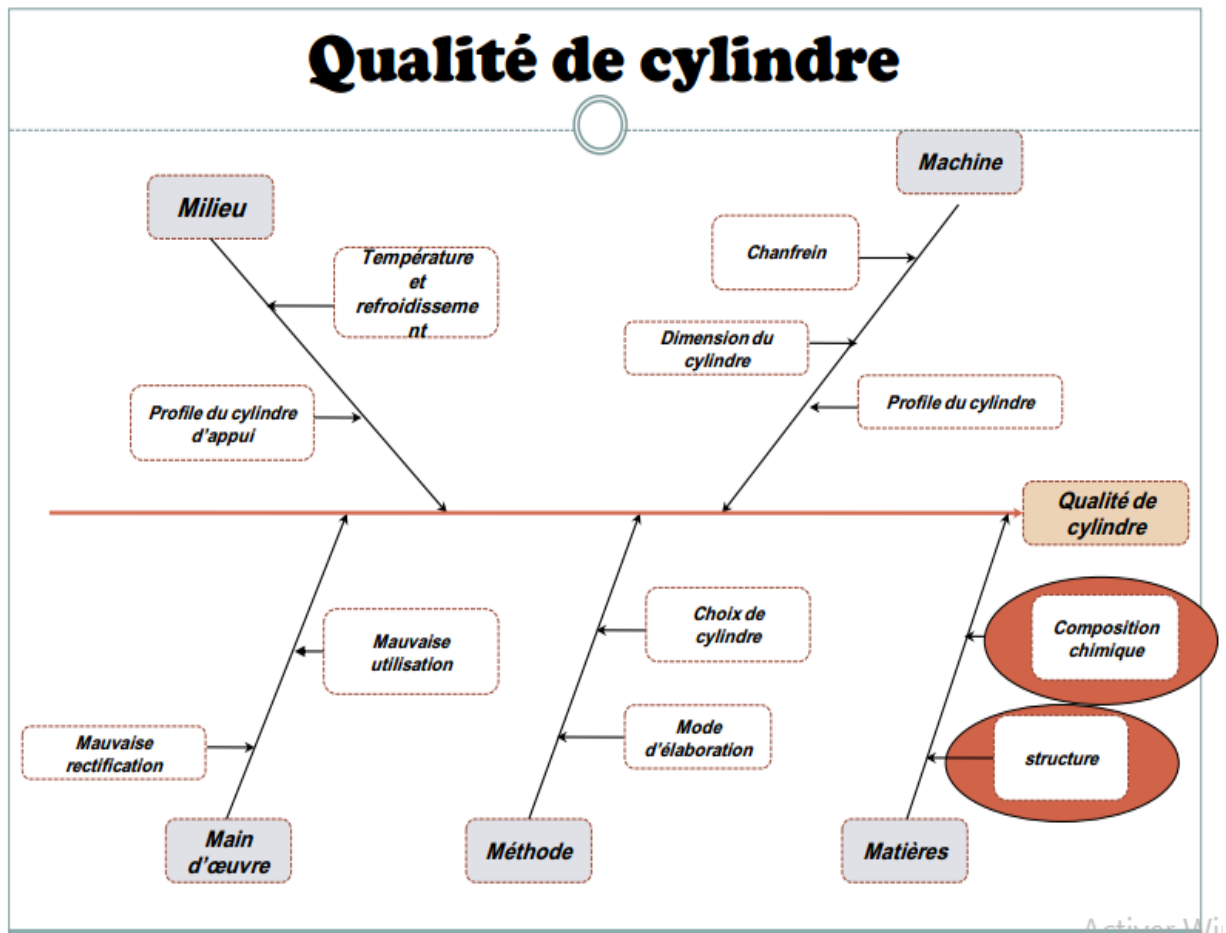


Planche.3 : paramètres influant sur la qualité des cylindres dans le laminage à chaud.

Dans cette recherche ici trois cas des cylindres de trois fournisseurs reconnus mondialement. Il s'agit de :

- **MARICHAL KETIN Belgique.**
- **DAVY ROLLS Royaume unis.**
- **INNSE CILINDRI Italie.**

#### II.4.1. Cas cylindre MKB :

L'étude a été initiée à la suite des problèmes rencontrés lors de l'utilisation des 04 cylindres en fonte d'origine MARICHAL KETIN :

- Trois (03) cylindres ont subi des collages métal dès les premières utilisations (laminage d'environ 1500 tonnes).
- Une (01) cylindre a subit un écaillage profond sur 70 mm (la totalité de la couche de travail).

Un échantillon prélevé sur le fragment détaché du cylindre écaillé. Les coupes micrographiques ainsi que les analyses ont été effectuées sur une section située à environ 10 mm de la surface de la table du cylindre



Figure30 : écaillage cylindres MKB.

## III.4.2. Résultats d'analyses :

## III.4.2.1. Essais de dureté :

Shore C mesurée	Shore C spécifié sur certificat <b>MARICHAL KETIN</b>	
65	Bas	80.6
	Milieu	79.3
	Haut	79.6

Tableau 5 : la dureté d'un échantillon de cylindre MKB écaillé.

## III.4.2.2. Analyse chimique :

Elément (%)	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
Analyse	4.07	0.89	0.90	0.011	0.014	4.20	1.77	0.43
Sur certificat <b>MARICHAL KETIN</b>	3.42	0.95	0.97	Non spécifié	Non spécifié	4.36	1.74	0.39

Tableau 6 : analyse chimique d'un échantillon de cylindre MKB écaillé.

Microstructure/ Fonte hypo eutectique : Ledeburite + bainite

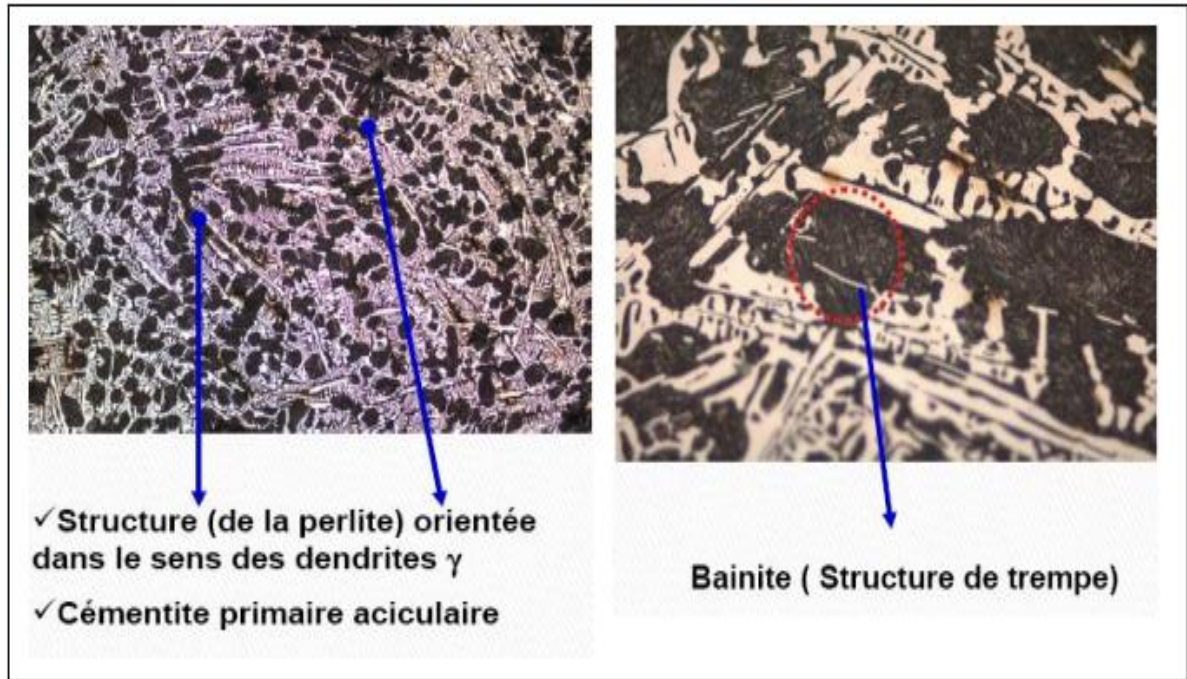


Figure 31 : analyse structurale d'un échantillon de cylindre MKB.

III.4.2.3. Microstructure :

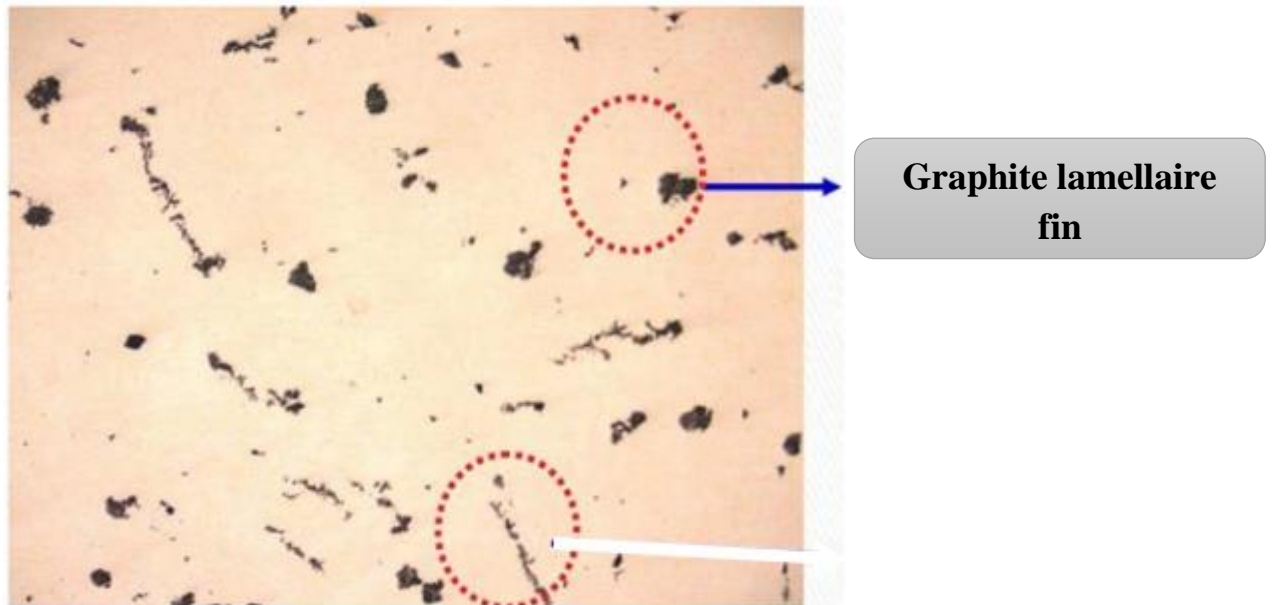


Figure32 : structure (graphite) de cylindre MKB écaillé.

### III.4.2.4. Interprétation des résultats :

#### III.4.2.4.1. Composition Chimique :

La présence de Chrome, de Nickel et de Molybdène en telles proportions est en faveur d'un bon niveau de dureté superficielle et par conséquent une bonne tenue à l'usure du cylindre. Par contre la teneur en carbone est élevée par rapport à celle spécifiée dans le certificat du fournisseur et aussi celle des fontes faiblement alliées destinées à la fabrication des cylindres de travail. Usuellement, cette teneur ne devrait pas dépasser 3,6% (Tab)

#### III.4.2.4.2. Microstructure :

Points forts : La présence simultanée d'eutectique et de bainite est en faveur d'un bon niveau de dureté superficielle (figure)

#### □ Points faibles :

- ✚ Orientation dendritique de la structure.
- ✚ Cémentite primaire en grande proportion et de forme aciculaire fragilisante
- ✚ conditions de refroidissement pendant la solidification du cylindre).
- ✚ Présence de graphite (lamellaire et nodulaire) sachant que dans les fontes blanches tout le carbone devrait précipité sous forme de cémentite ou autre carbure (conditions de refroidissement pendant la solidification du cylindre) mais ceci décrit bien les caractéristiques des cylindres en fontes à trempé indéfinie (fig.18).

#### □ Dureté :

La dureté réelle est inférieure à celle spécifiée dans le certificat du fournisseur de 14 points. Le carbone, qui devrait augmenter la dureté de la table du cylindre sous forme de cémentite alliée, a précipité en grande proportion sous forme de graphite.

### III.4.2.5. CONCLUSIONS :

L'endommagement (écaillage) des cylindres est vraisemblablement dû à des anomalies microstructurales ; résultat de mauvaises conditions de refroidissement pendant la coulée du cylindre ainsi qu'un traitement thermique non adéquat donnant lieu aux anomalies suivantes:

- Présence de cémentite primaire aciculaire en proportion importante (forme aciculaire fragilisante)
- Présence de graphite en grandes proportions, ce qui montre que les conditions de solidification n'ont pas été en faveur de la formation de la cémentite favorable aux conditions de travail des cylindres, l'excédent de carbone a précipité sous forme de graphite

### III.4.2. Cas des cylindres DAVY ROLL :

Deux (02) fragments d'écaillés détachés d'un cylindre d'origine Davy Roll.

#### III.4.2.1. Composition chimique :

L'analyse chimique par voie spectrale donne les résultats suivants :

Elément	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ti	Cu	Ni	Mo
%	4.47	0.80	0.77	0.016	0.014	1.38	0.016	0.027	4.07	0.26

*Tableau 7 : analyse chimique d'un échantillon de cylindre DAVY ROLL écaillé.*

Il s'agit d'une fonte hypo eutectique faiblement alliée au Chrome et au Nickel. Il est à noter que le taux de carbone pour les cylindres travail de trains finisseurs continus ne dépasse pas 3,6 %

#### III.4.2.2. Analyse microscopique :

Des sections métallographiques préparées sur deux échantillons perpendiculairement au faciès de rupture. Les observations ont été effectuées au microscope à des grossissements allant de 150 X à 300 X.



**III.4.2.2.1. Observation sans attaque :**

Elle montre :

- Présence de graphite pseudo-lamellaire de taille hétérogène.
- Présence de fissures se propageant à l'interface matrice-graphite (le long des lamelles de graphite).
- Présence de lamelles de graphite enchevêtrées



Fig1 : graphite de taille hétérogène G=150x

fig2 : fissure propageant le long de lamelle de graphite G= 300x

Figure 33 : structure sans attaque chimique d'un échantillon Davy roll écaillé.

**III.4.2.2.2. Observation après révélation de la structure :**

Elle montre une microstructure de fonte truitée (mi-blanche, mi-grise)

- Présence graphite.
- Présence d'eutectique (lédeburite).
- Matrice bainitique.

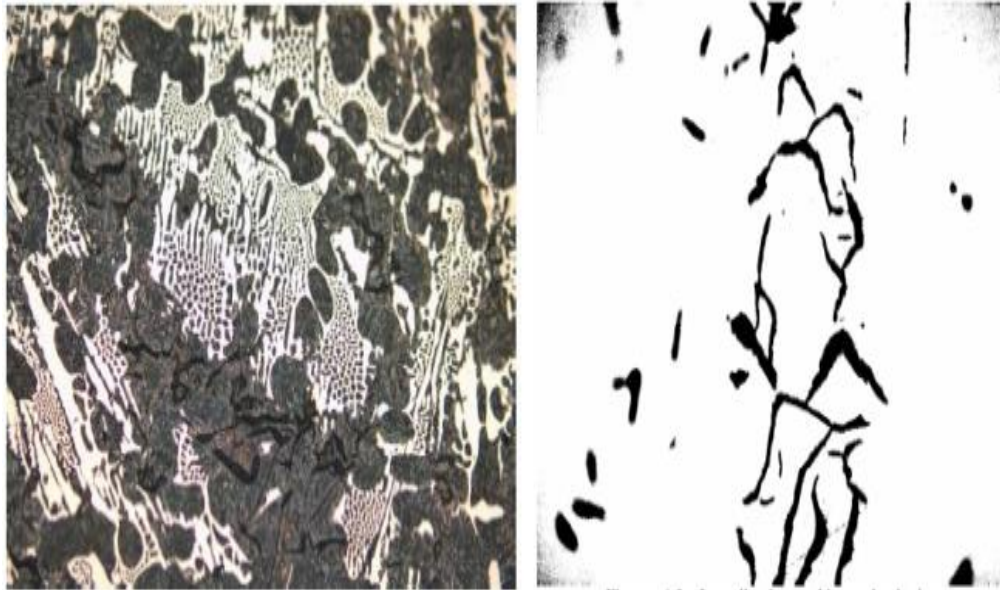
### III.4.2.3. Interprétation des résultats :

#### III.4.2.3.1. La Composition Chimique :

- La présence de chrome, de Nickel et de Molybdène en telles proportions est en faveur d'un bon niveau de dureté superficielle et par conséquent une bonne tenue à l'usure
- La teneur en carbone est élevée par rapport aux fontes faiblement alliées destinées à la fabrication des cylindres de travail, usuellement cette teneur ne dépasse pas 0,36%

#### III.4.2.3.2. La Microstructure :

- La présence simultanée d'eutectique, de graphite et de bainite est en faveur d'un bon niveau de dureté superficielle.
- La localisation du graphite dans cette fonte, relativement dure, caractérise les fontes à trempe indéfinie.
- En effet, le graphite Précipité dans les zones inter dendritiques génère des microvides à l'interface matrice-graphite qui constituent des amorces faciles pour les fissures ; la propagation des fissures est facilitée par l'enchevêtrement des lamelles de graphite. Lors du laminage, le réseau de graphite près de la surface du cylindre, favorise l'amorçage des fissures et sous l'effet des contraintes appliquées, ces fissures trouvent leur chemin aisément le long de ce réseau.



Structure de fonte traitée  
G= 300x

Fig4 : lamelle de graphite enchevêtrée  
G=750x

*Figure 34 : structure avec attaque chimique d'un échantillon Davy roll écaillé.*

#### III.4.2.4. Conclusion :

L'endommagement des cylindres est dû à des anomalies microstructurales, résultats d'un mauvais traitement thermique.

### III.4.3. Cas du cylindre INNSE CYLINDRI

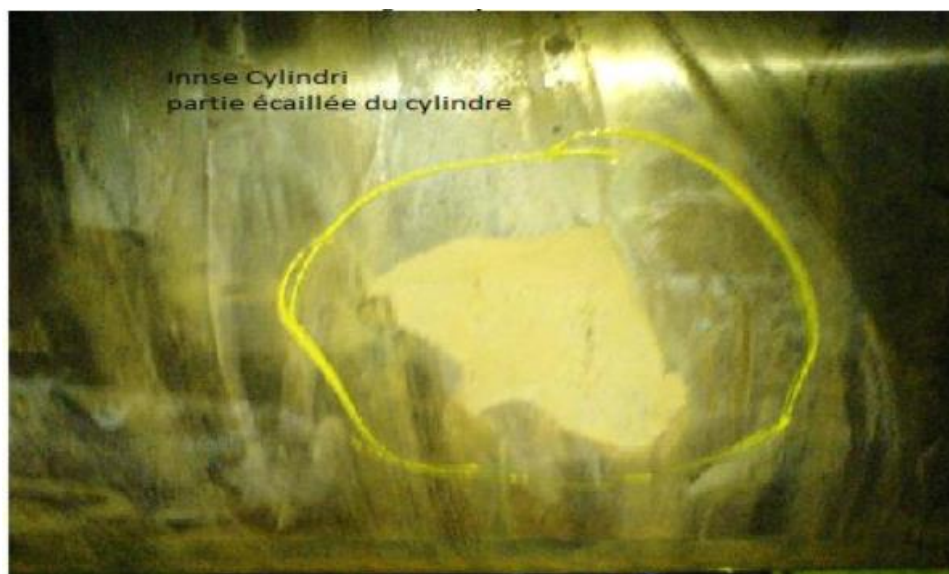


Figure35 : photographie du cylindre écaillé INNSE CYLINDRI..

#### III.4.3.1. Analyse chimique :

Elément (%)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Analyse	3,83	0,84	0,81	0,05	0,009	1,76	4,06	0,35
Sur certificat INNSE CYLINDRI	3,5	1,2	1,2	0,04	0,03	2,00	4,8	0,6

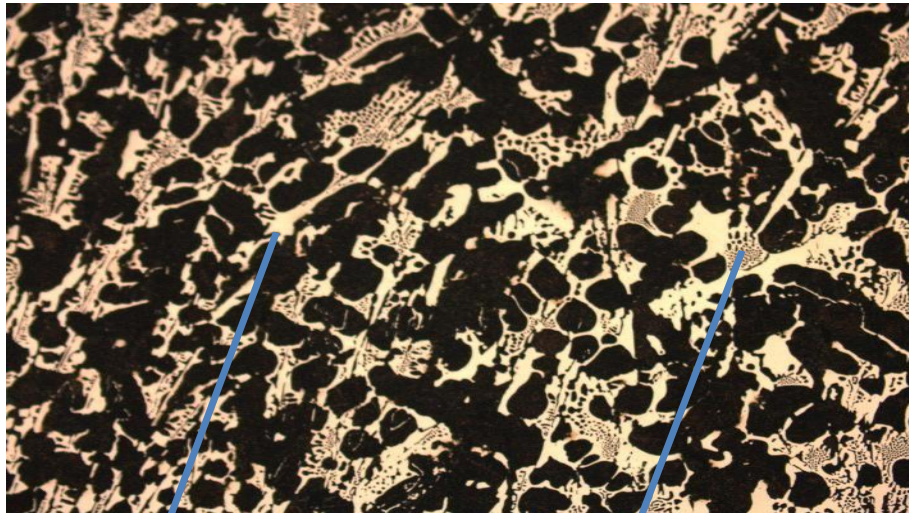
Tableau 8 : Analyse chimique d'un échantillon de cylindre INNSE écaillé.

## III.4.3.2. Essai de dureté :

Shore C mesurée	Shore C sur certificat INNSE CYLINDRI	
75	Bas	76
	Milieu	76
	Haut	76

Tableau 9 : la dureté d'un échantillon de cylindre INNSE CYLINDRI écaillé.

## III.4.3.3. La microstructure.



Cémentite dendritique

Perlite

Figure 36 : Microstructure de l'échantillon écaillé AVEC attaque chimique grossissement 150X.

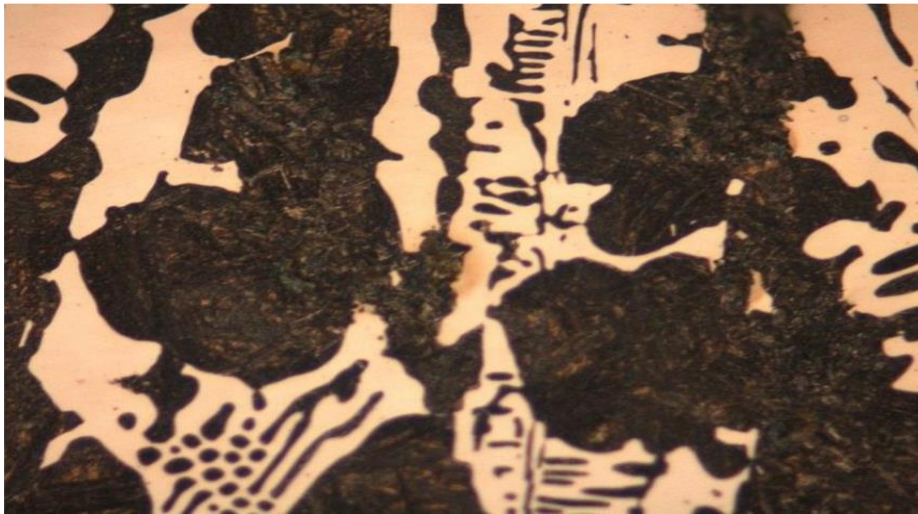


Figure 37 : Microstructure de l'échantillon écaillé avec attaque chimique grossissement 300X.



Graphite lamellaire

Figure 38 : Microstructure de l'échantillon INNSE écaillé sans attaque chimique. Grossissement X150.

### III.4.3.4. Interprétation des résultats :

#### III.4.3.4.1. Composition Chimique :

La présence de Chrome, de Nickel et de Molybdène en telles proportions est en faveur d'un bon niveau de dureté superficielle et par conséquent une bonne tenue à l'usure du cylindre. Par contre la teneur en carbone est légèrement élevée par rapport à celle spécifiée dans le certificat du fournisseur, normalement cette teneur ne devrait pas dépasser 3,6%.

#### III.4.3.4.2. Microstructure :

La présence simultanée de la perlite, cémentite, et de la Bainite est en faveur d'un bon niveau de dureté superficielle.

#### III.4.3.4.3. Dureté :

La dureté obtenue après analyse est de l'ordre de celle donnée par le fournisseur

(Entre 75-80)

### III.4.3.5. Conclusion :

Les résultats précédents montrent clairement l'influence de la non-conformité de la qualité des cylindres sur l'apparition de l'écaillage néanmoins, ces cas de cylindre ne représentent que 7% de la totalité des cylindres écaillés. Ceci montre que d'autres facteurs (autre que la qualité des cylindres) interviennent sur l'apparition du défaut d'écaillage.

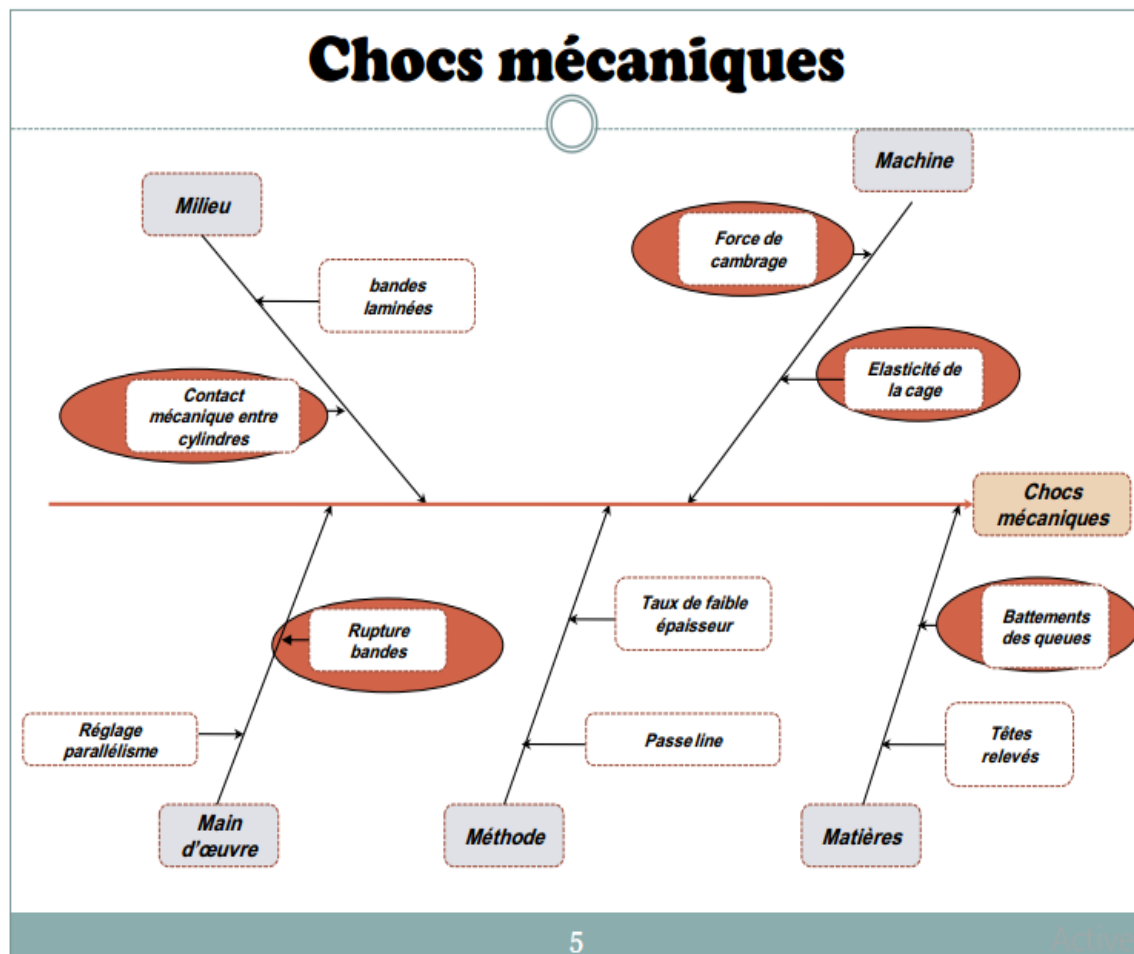
II.5. *Influence des chocs mécaniques :*

Planche 4. : Paramètres influant sur les chocs mécaniques dans le laminage à chaud.

Pendant le laminage des fines épaisseurs (inférieur à 2 mm), et en fonction de la valeur du seddage de la cage où les cylindres de travail se positionnent à un gap négatif allant jusqu'à -3 mm c'est-à-dire qu'ils sont en contact permanent et que la bande les sépare pendant son engagement et dès que cette dernière quitte l'emprise sous l'effet des deux forces agissantes (forces de laminage et de cambrage) les deux cylindres se martèlent entre eux pouvant causer des fissures internes dans les zones à défauts.

### III.5.1. Solution proposée :

La solution préconisée consiste à l'arrêt de la fonction cambrage avant que la bande ne quitte la cage. La planche suivante montre l'application sur HMI (Humann Machine Interface) de la modification de la fonction cambrage faite sur le programme de calcul. Cette solution a pu aussi éliminer un problème de pic de force de cambrage en queue



de bande (pic de force de correction des ondulations de la bande après avoir quitté la cage amont).

III.6. Influence du cambrage :

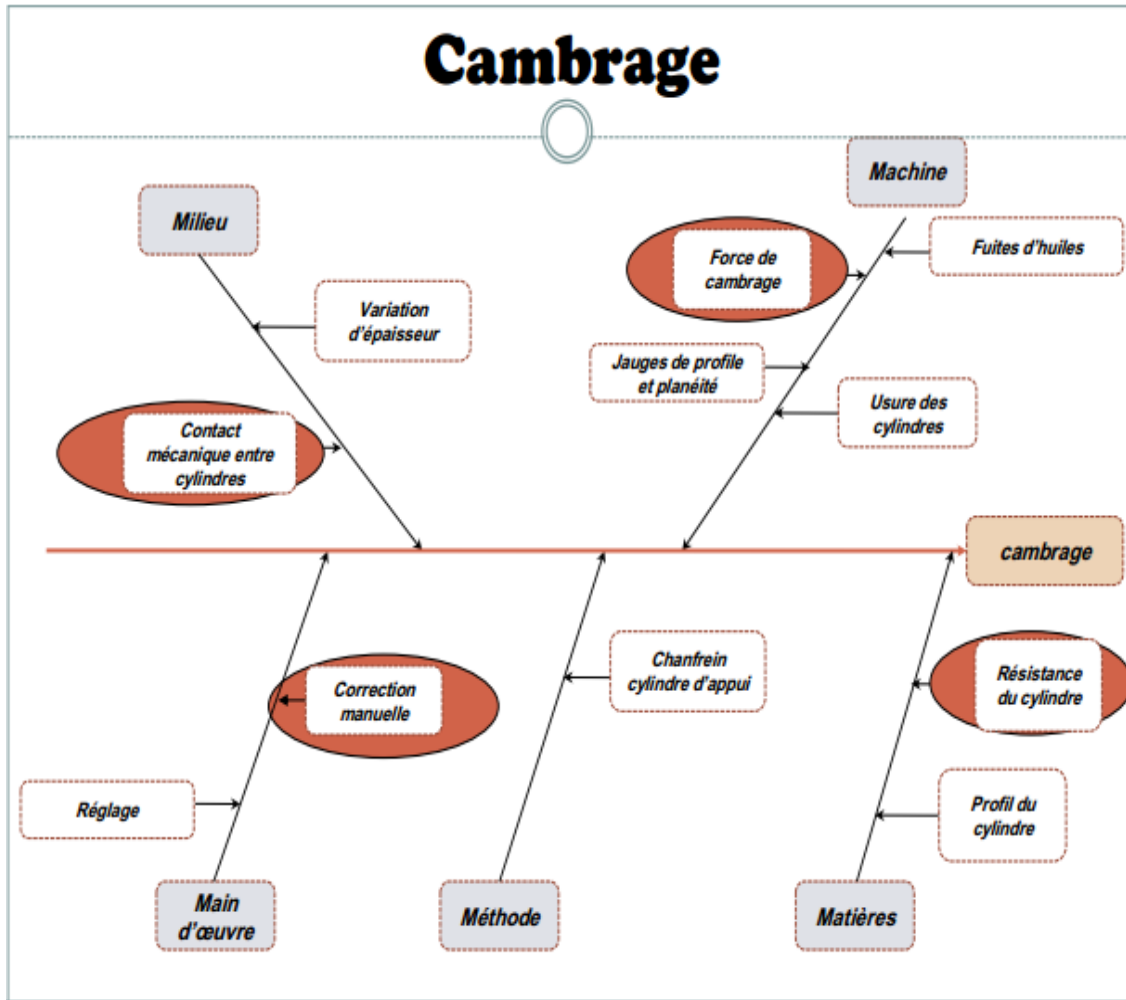
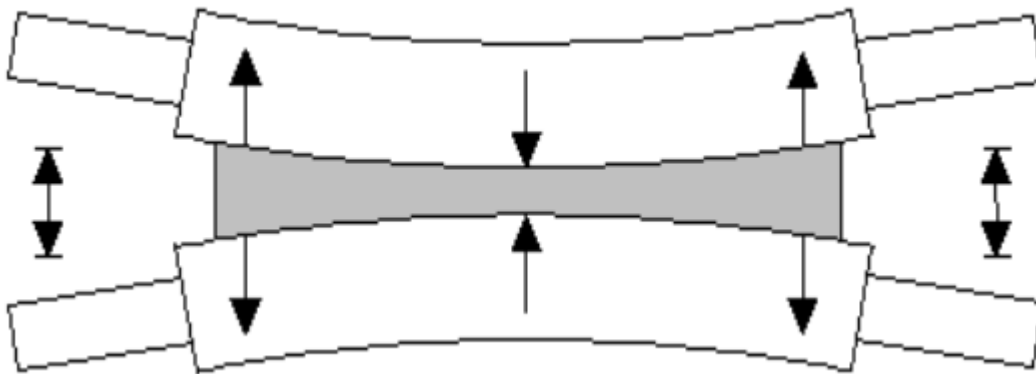


Planche5 : paramètres influant sur les forces de cambrage des cylindres dans le laminage à chaud.

L'influence des forces de cambrage du point de vue de la limite de résistance des cylindres. Le cambrage est une force utilisée pour corriger le fléchissement ou le cambrage des cylindres au cours de laminage sous l'effet des pressions de laminage comme il est montré sur la figure précédent, afin de donner un profil correct à la bande laminée



La planche suivante, qui représente le calcul des forces de cambrage du train finisseur d'Arcelor métal Algérie tirée des HMI du laminage à chaud ,montre les limites des forces de cambrage fixées par les constructeurs entre 150 et 2400 KN et sur le graphe figure suivante pour une bande laminée à 1,9 mm d'épaisseur, cette force a dépassé 1900 KN

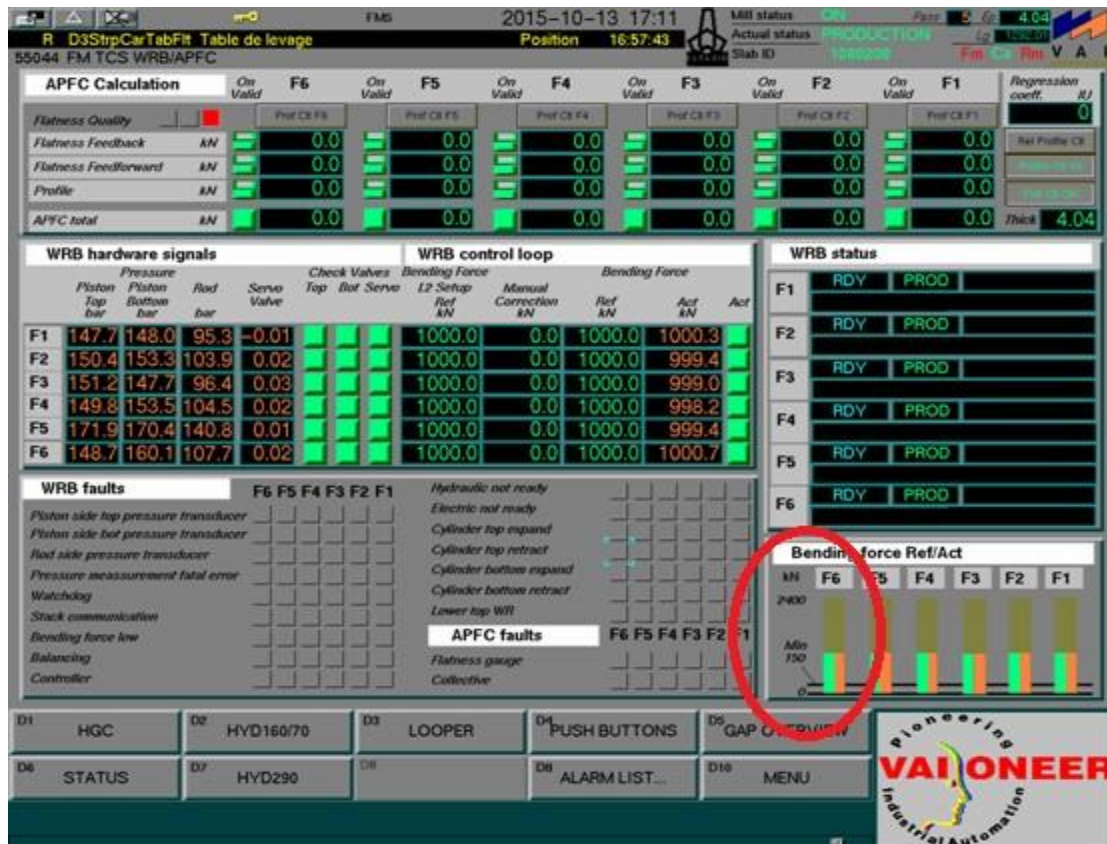


Figure 39. Vue de calcul des forces de cambrage du train finisseur.

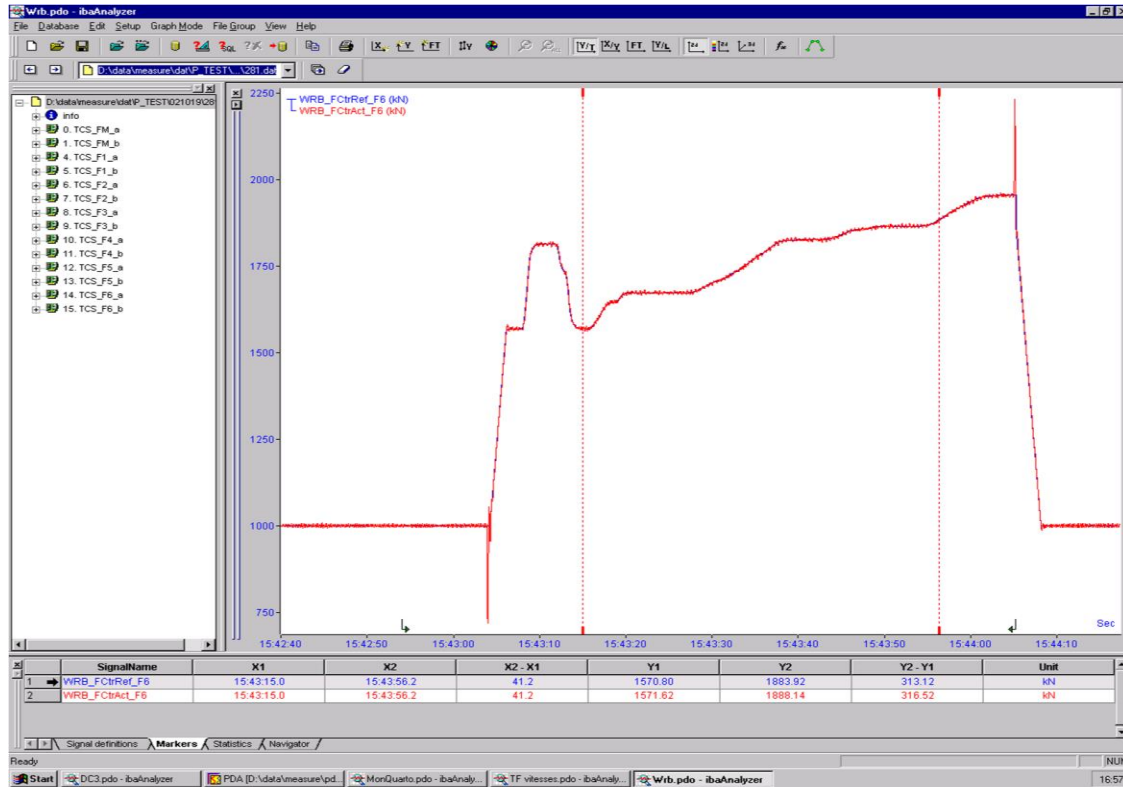


Figure 40 : Graphe de force de cambrage d'une bande laminée à 1,9mm d'épaisseur.

Bien que lorsqu'on a consulté les fournisseurs reconnus dans le domaine de fabrication des cylindres et spécialement les cylindres en fonte à trempe indéfinie, ces derniers résistent à des forces de cambrage ne dépassant pas les 1700 kN donc les cylindres pendant le laminage des fines épaisseurs surtout en fin de campagne sont soumis à des forces nettement supérieures à leur résistance. La limitation des forces de cambrage pour les cages finisseuses à des valeurs ne dépassant pas 1600 kN est facile à réaliser sur le programme de fonctionnement, seulement on doit chercher une solution à l'apparition des ondulations aux bords de la bande laminée.[15]

# *CHAPITRE I*

## Processus technologique de laminoir à chaud



## CONCLUSION GENERALE

L'endommagement (écaillage) des cylindres est dû, toujours selon la bibliographie, aux :

1. défauts de fabrications :

- Non-respect de composition chimique préalablement étudiée.

La présence de Chrome, de Nickel et de Molybdène en telles citée dans l'exemple.

- des anomalies microstructurales

- Présence de cémentite primaire aciculaire en proportion importante.
- Présence de graphite en grandes proportions.

2. Aux conditions de travail :

- cycle thermique
- chocs mécaniques
- présence de calamine
- cambrage excessif etc.

En résumé, les grandes sources d'écaillage sont :

- suite aux défauts de fabrication (non-respect de la fiche technique).
- aux conditions de travail sus citées.

## Références bibliographique

- [1] : document SIDER EL HADJAR
- [2] : [www.euraliage.com](http://www.euraliage.com) / laminage .46064 jan 2008.
- [3] : [www.universalis.fr/em.fm.com;homesapplication](http://www.universalis.fr/em.fm.com;homesapplication) 47063.19 décembre 2003.
- [4] : [www.technique d'ingenieur.fr/base ...](http://www.technique-d'ingenieur.fr/base...) métallurgie de laminage à chaud-m 7860 ; 08 juillet 1990
- [5] : [www.rocd acier .com/ressource .n.384/cours –sur- le forgeage-description](http://www.rocd-acier.com/ressource.n.384/cours-sur-le-forgeage-description) université de batna 2006
- [6] : T.AROUBERT ; J MARQUET les qualités de forge aout 1992
- [7] : thèse master MESSAI université Badji Mokhtar Annaba.
- [8] : thèse doctorat Bouguerra université Badji Mokhtar Annaba.
- [9] : document technique LAC – SIDER EL HADJAR 2018.
- [10] : [belgium.arcelormittal.com/fr/environnement-de-travail/laminoir-a-chaud](http://belgium.arcelormittal.com/fr/environnement-de-travail/laminoir-a-chaud)
- [11] : document technique LAC – SIDER EL HADJAR 2018.
- [12] : statistiques SIDER EL HADJAR
- [13] : thèse de Magister Bechkri Bouchra UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE
- [14] : Roll Failures Manuel Hot Mill Cast Work Rolls 1st Edition 2002
- [15] : thèse doctorat Bouguerra université Badji Mokhtar Annaba