

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'Ingénierat

Département : Métallurgie

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Métallurgie

Spécialité : Génie des Surfaces métalliques

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Contribution à l'étude des causes de l'apparition de  
l'empreinte de collage des produits laminés à froid  
(Sider Annaba)**

Présenté par : *AOUAMRI ASMA*

Encadrant : *KHETTACHE ABDELKADER, Prof, Université Badji-Mokhtar Annaba*

Co encadrant : *BOUGUERRA SALOHA*

### Jury de Soutenance :

ZAHZOUH MOUSSA	Prof.	UBMA	Président
KHETTACHE ABDELKADER	Prof.	UBMA	Encadrant
BACCOUCHE MOSTEFA	Prof.	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

## Remerciement

---

*Louange à Dieu, mon créateur, de m'avoir donné toute la force nécessaire pour accomplir ce modeste travail, Puis Je voudrais témoigner toute ma gratitude à Monsieur BOUGUERRA.S pour sa confiance, sa disponibilité Sa rigueur Scientifique et ses encouragements et son soutien.*

*J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur monsieur KETTACHE.A de m'avoir aidé dans ma recherche.*

*Un merci bien particulier adressé également à MONSIEUR BOUDEBAN SAID, Sa passion et son enthousiasme à aider les étudiants dans leur parcours universitaire méritent d'être soulignés.*

*Merci à mes très chers parents, pour tout l'amour, pour tout ce que vous avez fait pour moi. je fait de mes mieux pour rester un sujet de fierté à vos yeux avec l'espoir de ne jamais vous décevoir.*

*Je remercie mes frères et mes sœurs pour leur encouragement et qui ont toujours été là pour moi.*

*Merci plus particulièrement à Z.CHADIA pour son amitié précieuse et son soutien inconditionnel. Nos huit années ont été une chouette expérience, pleine de fous rires, d'échanges enrichissants et de bons moments*

*Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

## Dédicaces

---

*Je dédie ce travail en guise de reconnaissance, d'amour et d'affection à **mes parents**, qu'ils veillent bien accepter ce travail comme témoignage de ma profonde gratitude pour toute la patience et les sacrifices qu'ils ont consentis pour l'éducation de leurs enfants, et dont je suis à jamais redevable.*

*A ma sœur **SARA**, La distance des frontières qui nous sépare est bien grande, mais rien n'est plus fort que qui l'amour nous lie.*

*A ma petite sœur **SERINE***

*A ma belle-sœur **HAFIDA***

*A mes frère **AZOU** et **WAFI***

*Et bien sûr à mon petit neveu **MOHAMMED YASSER***

*A toute ma famille*

*A toute ma promotion de master Du long chemin avec tous mes vœux de succès*

*A tous ceux que j'aime*

*A tous ceux qui m'aiment.*

*ASMA AOUAMRI*

# Sommaire

---

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	3
<b>Chapitre I : Etude Technologique</b> .....	4
<b>I. DESCRIPTION GENERALE DE L'ENTREPRISE</b> .....	5
<b>I.1 SIDER EL-HADJAR</b> .....	5
I.1.1 Mission .....	6
I.1.2 Histoire du complexe d'El Hadjar .....	7
I.1.3 Unité de production .....	8
I.1.4 Unités support et logistiques .....	8
I.1.5 Processus de la production : .....	8
I.1.6 Les produits et le rôle de chaque unité .....	9
I.1.7 Produits du complexe d'El Hadjar.....	10
I.1.8 Organisation de l'entreprise : .....	18
I.1.9 Organisme de l'entreprise : .....	19
<b>Chapitre II : Le laminage à froid</b> .....	20
<b>I. Présentation du laminage</b> .....	21
<b>I.2 Description technologique du LAF</b> .....	21
I.2.1 Une ligne de décapage à l'acide sulfurique : .....	21
I.2.1.1 Section entrée : .....	21
I.2.1.2 Section de traitement : .....	22
I.2.1.3 Section sortie : .....	22
I.2.2 Laminoir Tandem : .....	22
I.2.2.1 <i>Description du laminoir</i> .....	23
I.2.3 Une ligne de dégraissage électrolytique .....	26
I.2.4 Le recuit .....	26
I.2.5 Skin-pass .....	27
I.3 Principe de laminage .....	28
I.4 Opérations de laminage .....	29
I.5 Procédé de laminage.....	30
I.6 Nécessite du laminage à froid.....	30
I.7 Facteurs d'échauffement lors du laminage à froid. ....	31
<b>II. La lubrification</b> .....	32
II.1 Le rôle principal du lubrifiant dans le laminage à froid : .....	33

# Sommaire

---

II.1.1	Réduction du frottement .....	33
II.1.2	Refroidissement.....	33
II.1.3	Emulsion.....	33
II.1.4	Dispersion.....	33
II.2	Formulation technologique des lubrifiants du LAF : .....	33
II.3	Nature du lubrifiant : .....	34
II.3.1	Les additifs .....	35
II.3.2	Mode d'application : .....	37
II.4	Caractéristiques physico-chimiques des huiles et émulsions : .....	37
<b>Chapitre III : Les défauts de qualité de produit laminé à froid</b> .....		<b>38</b>
I.	Défauts liés à la lubrification.....	39
II.1	Défauts d'aspect .....	39
III.	État de surface d'un produit laminée à froid .....	39
III.1	— défauts d'origine aciérie.....	40
III.2	— défauts d'origine thermique .....	40
III.3	— rouille.....	41
III.4	— défauts d'origine mécanique .....	41
IV.	Problématique de la qualité des produits laminés .....	41
IV.1	Objectifs qualité .....	41
<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b> .....		<b>43</b>
Introduction .....		44
<b>I. Problématique</b> .....		<b>44</b>
<b>II. Statistique de déclassé LAF 2018 et 2019</b> .....		<b>44</b>
II.1	Evolution de déclassée SKP2 2018 .....	44
II.2	Evolution de déclassée SKP2 2019 .....	45
<b>III. Défaut empreinte de collage :</b> .....		<b>46</b>
III.1	Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2018.....	49
III.2	Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2019.....	50
<b>IV. Les causes racines du défaut empreint de collage</b> .....		<b>51</b>
IV.1	Traction enrouleuse .....	51
IV.2	Qualité d'eau d'appoint pour émulsion .....	54
IV.2.1	Concentration huile d'émulsion .....	54
IV.2.1.1	Evolution de la concentration d'huile d'émulsion TDM de l'année 2018 .....	54
IV.2.1.2	Evolution de la concentration huile d'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018 .....	54
IV.2.2	Taux de fer total.....	55

# Sommaire

---

IV.2.2.1	Evolution du fer totale TDM de l'année 2018.....	55
IV.2.2.2	Evolution du fer totale et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018 ....	56
IV.2.3	L'indice de saponification ( $I_s$ ).....	57
IV.2.3.1	Evolution de l'indice de SAP de l'émulsion TDM de l'année 2018 .....	57
IV.2.3.2	Evolution de l'indice de SAP de l'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018 .....	59
IV.3	Qualité de rectification des cylindres .....	60
IV.4	Pression de soufflage.....	60
<b>Conclusion</b> .....		61
<b>Bibliographie</b> .....		62

## Sommaires des figures et tableaux

### 1- Tableau des figures :

<b>figures</b>	<b>Nom de figures</b>	<b>pages</b>
<b>1</b>	Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar	<b>6</b>
<b>2</b>	Processus de la production de SIDER EL-HADJAR	<b>9</b>
<b>3</b>	Bobines laminées à chaud brutes ou décapées et tôles	<b>11</b>
<b>4</b>	Bobines laminées à chaud et tôles striées ou l'armée	<b>12</b>
<b>5</b>	Bobines et tôles Skin Passées	<b>13</b>
<b>6</b>	Bobines Galvanisées	<b>14</b>
<b>7</b>	Tôles Nervurées	<b>15</b>
<b>8</b>	Feuillard Galvanisé I.1.5.b	<b>16</b>
<b>9</b>	Rond à Béton Nervuré	<b>17</b>
<b>10</b>	Organigramme d'Installations et produits du complexe	<b>18</b>
<b>11</b>	Organisme de l'entrepris	<b>19</b>
<b>12</b>	Schéma d'une ligne continue de décapage	<b>22</b>
<b>13</b>	Laminoir Tandem à 5 Cages au niveau SIDER EL HADJAR	<b>23</b>
<b>14</b>	Schématisation d'une ligne de production de Laminage à froid	<b>23</b>
<b>15</b>	enrouleuse (bobineuse)	<b>25</b>
<b>16</b>	four de recuit SIDER ELHADJAR unité LAF	<b>26</b>
<b>17</b>	vue de l'intérieur four de recuit SIDER EL HADJAR Algérie unité LAF	<b>26</b>
<b>18</b>	Procédé de recuit	<b>27</b>
<b>19</b>	descriptions technologiques du LAF	<b>28</b>
<b>20</b>	laminage à froid tandem de Cinq-cages	<b>29</b>
<b>21</b>	Schéma illustrant les cylindres de travail d'un train de laminage	<b>30</b>
<b>22</b>	Schéma de la formation de bandes de glissement	<b>32</b>
<b>23</b>	Schématisation de la structure des microparticules d'émulsifiant	<b>34</b>
<b>24</b>	Schématisation du mélange de Refroidissement et Emulsion	<b>37</b>
<b>25</b>	empreinte de collage	<b>47</b>
<b>26</b>	Arbres des causes du défaut empreint de collage	<b>48</b>

## Sommaires des figures et tableaux

---

### 2- Tableaux :

<b>Tableau</b>	<b>Nom de tableau</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	produit de chaque unité	10
<b>2</b>	Principaux additifs	36
<b>4</b>	Evolution de déclassée SKP2 2018	45
<b>5</b>	Evolution de déclassée SKP2 2019	46
<b>3</b>	cause racines de défaut empreint de collage	48
<b>6</b>	Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2018	49
<b>7</b>	Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2019	50
<b>8</b>	suivi traction enrouleuse	53
<b>9</b>	Evolution de Concentration de huile d'émulsion /2018	54
<b>10</b>	L'évolution de la concentration huile d'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018	55
<b>11</b>	L'évolution du fer totale TDM de l'année 2018	56
<b>12</b>	L'évolution du fer totale TDM de l'année 2018	57
<b>13</b>	L'évolution de l'indice de SAP de l'émulsion TDM de l'année 2018	58
<b>14</b>	L'évolution de l'indice de SAP de l'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018	59



# Introduction générale

Depuis quelques années, la notion qualité est devenue une fonction essentielle au sein de nombreuses entreprises. Face à une concurrence de plus en plus rude, celle-ci incite dès lors chacune d'entre elles de se différencier, et de garantir au client (externe ou interne) une fiabilité et une crédibilité mesurée de ses produits ou de ses services.

Si l'ambition future de chaque entreprise est d'être un acteur dans son domaine, encore faut-il être en mesure de définir une stratégie permettant l'atteinte de ces objectifs.

De ce fait, et en raison des problèmes liés à la qualité des produits fournis par SIDER EL HADJAR et à titre d'exemple ceux laminés à froid, gravement affecté par différents défauts de surface, issus probablement de la vétusté de la chaîne de production (**LAF**), il m'a paru nécessaire d'axer mon humble recherche sur ce qu'on appelle défauts d'empreinte de collage contribuant ainsi à l'amélioration avenir de l'image de marque de cette entreprise.

Pour ce faire, une démarche a été envisagée et qui consiste à cibler les matériaux pouvant être la cause probable des différentes malfaçons, faisant de cette démarche le thème essentiel de mon objectif

L'objectif de ce travail consiste à fixer les causes probables de ce défaut et à y remédier.

Ce mémoire est composé de deux grandes parties :

La première partie consiste en une étude bibliographique qui comprend trois chapitres :

- Le premier chapitre Une description du complexe SIDER EL HADJAR situé à ELHADJAR-ANNABA.
- Dans Le deuxième chapitre un aperçu est donné sur les processus de laminage de l'acier pour la fabrication du produit plat qui est destiné aux différentes industries de transformation
- Dans Le troisième chapitre sont présentés les différents défauts de qualité de produit laminé à froid.

## **Introduction générale**

---

La seconde partie correspond à l'étude expérimentale où est présentée l'influence de différents paramètres sur l'apparition du défaut d'empreinte de collage. Ces paramètres sont :

- la traction enrouleuse
- la qualité d'émulsion
- qualité de rectification des cylindres
- pression de soufflage

# **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

# Chapitre I :

# Etude Technologique

## Chapitre I : étude technologique

---

### I. DESCRIPTION GENERALE DE L'ENTREPRISE

#### I.1 SIDER EL-HADJAR

Complexe sidérurgique intégré, filiale du groupe IMITAL, placé sous la tutelle du

Ministère de l'Industrie et des Mines.

- Situé à 12km d'Annaba.
- Superficie : 832 hectares.
  - Trois cents (300) hectares occupés par les ateliers de production,
  - Trois cents (300) hectares réservés au stockage des matières premières et des produits sidérurgiques,
  - deux cents (200) hectares affectés aux structures de services,
- SIDER EL HADJAR dispose de ses propres installations maritimes reliées au réseau
- ferroviaire pour le transport des matières premières et les expéditions des produits finis.
- SIDER EL HADJAR dispose d'un réseau commercial composé de 7 point de vente à travers le territoire national.
- Pour des besoins en énergie et fluides le complexe est équipé
  - Trois (3) centrales thermiques,
  - Quatre (4) centrales à oxygène,
  - Trois (3) usines à eau.

Date de la création de l'entreprise : 03 septembre 1964.

# Chapitre I : étude technologique

La figure 1 suivante présente une vue d'ensemble de ce complexe.

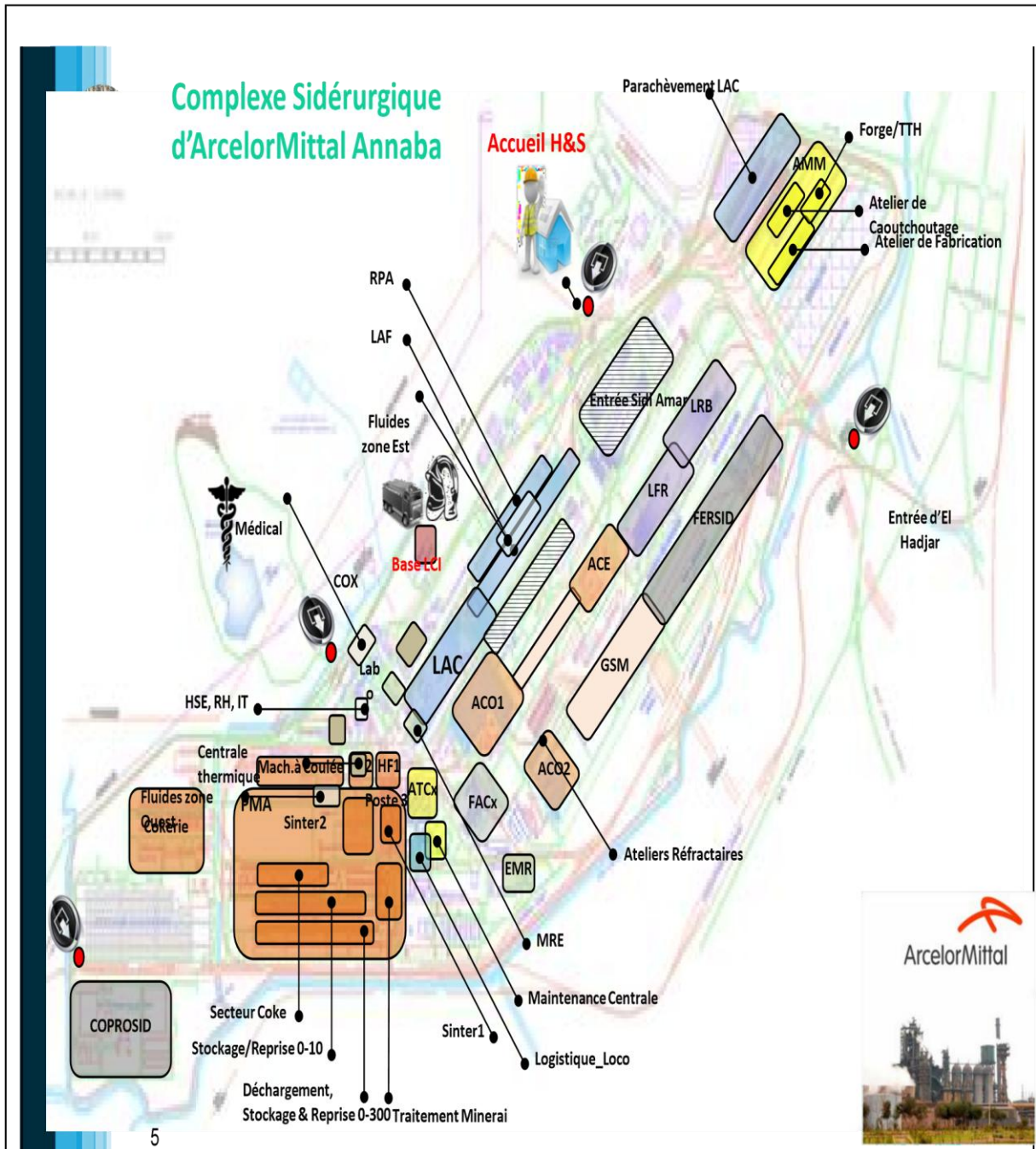


Figure 1 : Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar

## I.1.1 Mission

Fabrication et commercialisation des produits sidérurgiques finis et semi-finis pour le marché national et international.

## Chapitre I : étude technologique

---

### I.1.2 Histoire du complexe d'El Hadjar

L'idée de création d'un grand pôle industriel de sidérurgie à Annaba était prévu dans le plan de Constantine de 1958, où la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS) a été créée avec pour mission de réaliser un haut-fourneau ainsi que ses annexes, mais n'a pas été réalisé.

La Société nationale de sidérurgie (SNS) a été créée le 3 septembre 1964, chargée de la construction du Complexe sidérurgique d'El Hadjar qui a été inauguré le 19 juin 1969. Courant 1983, la restructuration de l'industrie algérienne donne naissance à l'entreprise nationale Sider qui devient Groupe Sider en 1995, pour passer de l'entreprise administrée à l'Entreprise publique économique (EPE/SPA) avec un plan de redressement en 1999, donnant naissance à 25 entreprises industrielles autonomes (filiales). Le 18 janvier 2001, c'est un partenariat entre LNM (Inde) et Sider (Algérie) qui donne naissance à Ispat Annaba.

Le complexe d'El Hadjar avait été cédé à Mittal en 2001, qui détenait 70% et 30% par l'Etat algérien à travers Sider. Par la suite, courant 2013, pour sauver l'unique complexe sidérurgique du pays employant 5000 personnes d'une cessation d'activité, il a été décidé par le gouvernement de reprendre le contrôle, le groupe public Sider augmentant sa participation dans AMA de 30% à 51% avec un plan d'investissement de 763 millions de dollars (565 millions d'euros) destiné au complexe sidérurgique de Annaba et aux mines de l'Ouenza et de Boukhadra. Une grande partie de l'investissement relatif à la modernisation du complexe, 600 millions de dollars environ, devait être financée à travers un crédit bancaire, dont la BEA (banque de Sonatrach). L'investissement à engager par les fonds propres des deux partenaires devait être de l'ordre de 123 millions de dollars. ArcelorMittal gardant le management, Sider préside le conseil d'administration, cet accord prévoyait un important plan de développement des ressources humaines au travers de formations intensives destinées aux employés afin de s'adapter aux nouvelles technologies prévues pour le site. L'objectif était d'augmenter la capacité de production du complexe d'El Hadjar (Annaba) à 2,2 millions de tonnes par an, de renforcer les capacités de l'aval par l'implantation d'un nouveau laminoir de rond à béton et de fil machine d'une capacité de 1 million de tonnes. Cela impliquait la modernisation de la filière fonte d'Annaba, notamment du haut-fourneau, ainsi que les installations de préparation matière, aciéries et laminoirs existants et la construction d'une nouvelle filière électrique. Lors des négociations en octobre 2013, il avait été prévu que le complexe devrait atteindre sa pleine capacité de production, 2,2 millions de tonnes d'acier, en 2017. Or, le complexe de sidérurgie d'El Hadjar n'a produit

## **Chapitre I : étude technologique**

---

en 2012, que 580 000 tonnes d'acier, alors que l'objectif initialement fixé était de parvenir à produire 600.000/700 000 tonnes pour l'année 2012. Et récemment en 2015 le DG du groupe Sider a signalé que la production d'acier du complexe sidérurgique d'El-Hadjar qui était d'un million de tonnes au départ a, depuis, chuté à 600 000 tonnes, «jusqu'à atteindre, aujourd'hui, 300000 tonnes», contre une demande nationale, pour les seuls ronds à béton et fils pour machines, d'environ 4 millions de tonnes. Cette contreperformance avec des pertes de plusieurs dizaines de millions de dollars est d'autant plus dommageable qu'elle s'inscrit dans un contexte économique porteur et une demande très dynamique d'acier sur le marché algérien.

### **I.1.3 Unité de production**

#### **ZONE CHAUDE**

- Préparation matières et agglomération (PMA).
- Haut fourneau (HF) + Coulée pour fonte en gueuse.
- Aciérie à oxygène pour brames (ACO1).
- Aciérie à oxygène pour billettes (ACO2).
- Coulée en source pour lingots (ACE).

#### **ZONE PRODUITS PLATS**

- Laminoir à chaud (LAC + ligne de cisailage).
- Laminoir à froid avec parachèvement et revêtement (LAF/RPA).

#### **ZONE PRODUITS LONGS**

- Laminoir à rond à béton (LRB)

### **I.1.4 Unités support et logistiques**

COX, PDE, FLUIDES, AMM, ATC, MCM, GTM, PORT.

### **I.1.5 Processus de la production :**



## Chapitre I : étude technologique

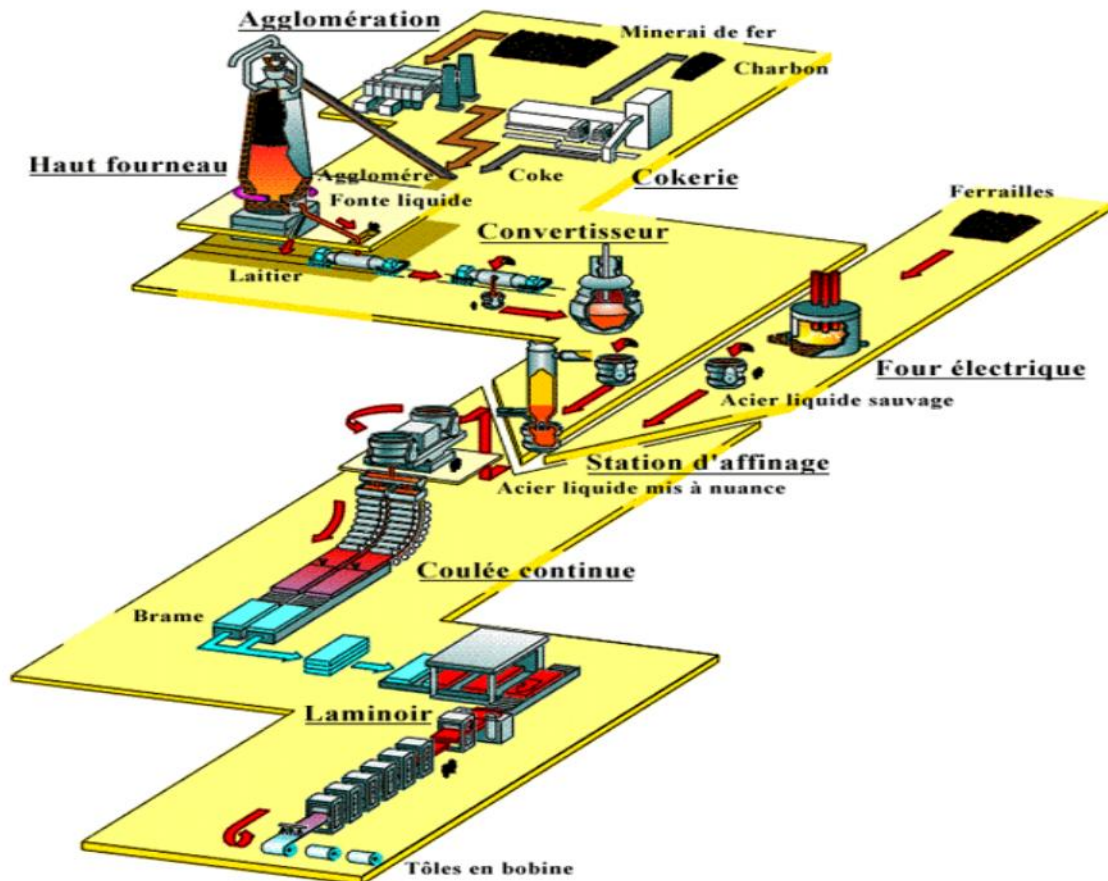


Figure 2 : Processus de la production de SIDER EL-HADJAR

### 1.1.6 Les produits et le rôle de chaque unité

Installation	Produits	Principaux utilisateurs
HF 1 et HF 2	Fonte	Métallurgie
ACO 1	Brames	Industrie de transformation
ACO 2	Billettes	Industrie de transformation

## Chapitre I : étude technologique

Laminoir à chaud (LAC)	Tôles fortes	Construction métallique chantiers navales tube bouteille à gaz
Laminoir à chaud (LAF)	Tôles fines	Electro-ménager meubler ? métallique industrie de transformation
Etamage	Fer blanc	Emballage métallique divers pour les industries alimentaires et chimiques
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiments pour l'agronomie industrie et élevage
Aciérie électrique (ACE)	Lingots	Recherche et production pétrolière transport des hydrocarbures
Laminoir à fil rond (LFR)	Fil rond à béton	Bâtiment et travaux publics hydraulique

**Tableau 1** : produit de chaque unité

### I.1.7 Produits du complexe d'El Hadjar

#### I.1.7.a Produits plats

- **Bobines laminées à chaud brutes ou décapées et tôles**

**Désignation du produit** : produit laminé à chaud dans un processus de traitement thermomécanique, en acier d'usage général de construction.

**Domaine d'application** : aciers de construction, acier pour formage à froid, acier pour bouteilles à gaz, acier pour appareil à pression, acier pour tube.

## Chapitre I : étude technologique

---

### Dimensions :

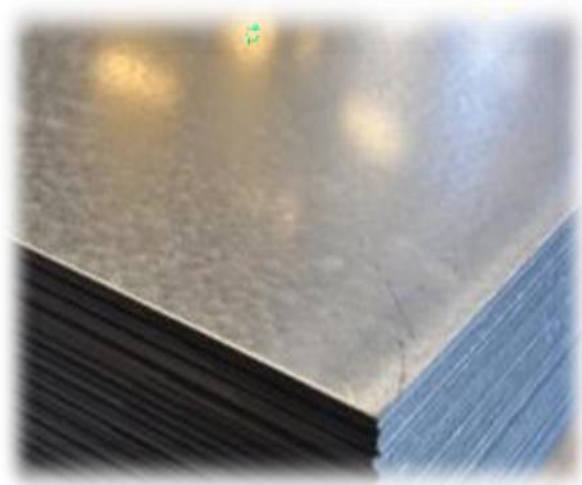
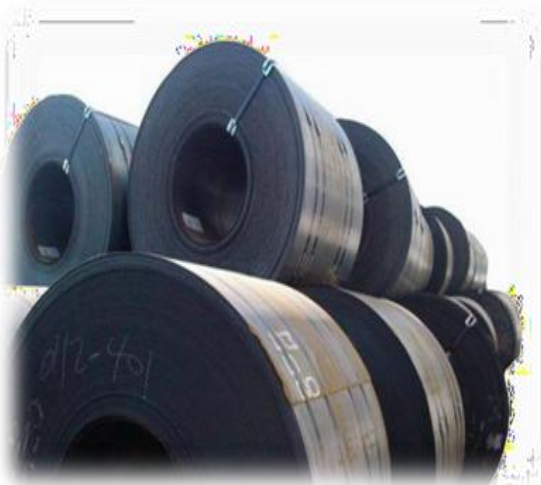
- Epaisseur : 1.6 à 12.5 mm
- Largeur : 680 à 1340 mm
- Longueur de tôle : 1200 à 6000 mm

### Poids unitaire :

- Bobines : 20 tonnes max.
- Paquet de tôles : 1.5 à 4.00 tonnes

### Etat des rives :

- Brutes pour le produit brut de laminage à chaud
- Dérivées pour le produit décapé et tôles.



**Figure 3 :** Bobines laminées à chaud brutes ou décapées et tôles

- **Bobines laminées à chaud et tôles striées ou l'armée**

**Désignation du produit :** produit laminé à chaud dans un processus de traitement thermomécanique, en acier d'usage général de construction.

**Domaine d'application :** aciers de construction.

**Dimensions :**

## Chapitre I : étude technologique

---

- Epaisseur standards : 2/4 ; 4/6 ; 5/7
- Largeur : 800 à 1250 mm
- Longueur de tôle : 1200 à 6000 mm

### Poids unitaire :

- Bobines : 20 tonnes max.
- Paquet de tôles : 1.5 à 4.00 tonnes

### Etat des rives :

- Brutes pour le produit brut de laminage à chaud cisailé.



**Figure 4 :** Bobines laminées à chaud et tôles striées ou l'armée

- **Bobines et tôles Skin Passées**

**Désignation du produit :** produit plats laminés à froid, en acier doux, dans un processus de décapage-écrouissage-recuit-base et skin passage.

**Domaine d'application :** pour formage à froid.

### Dimensions :

- Epaisseur : 0.32 à 2.00 mm
- Largeur : 630 à 1250 mm

## Chapitre I : étude technologique

---

- Longueur de tôle : 1200 à 3300 mm

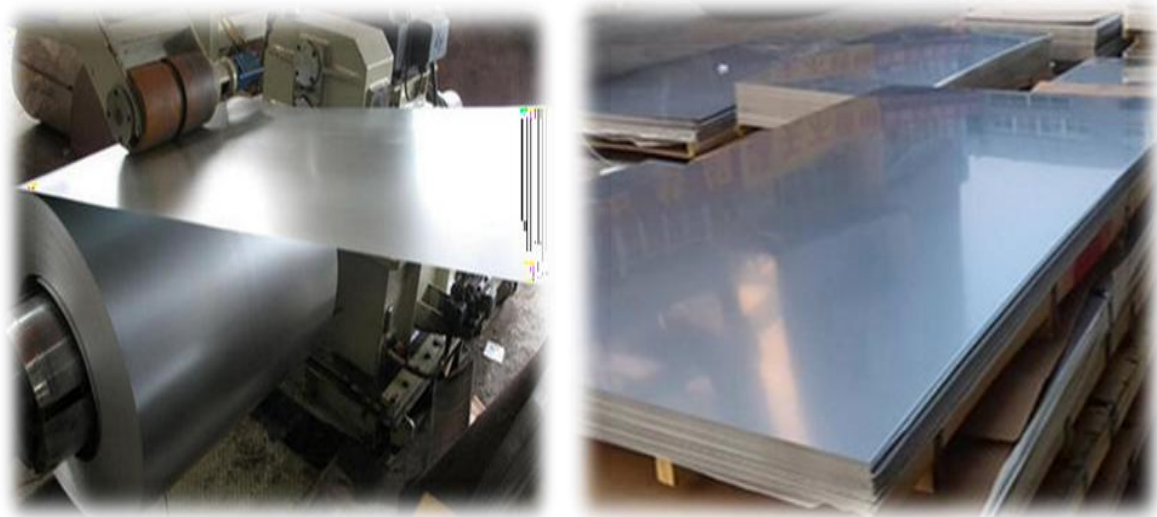
### Poids unitaire :

- Bobines : 18 tonnes max.
- Paquet de tôles : 1.5 à 4.00 tonnes

### Rugosité :

#### Finition de surface

- Brillante b  $Ra \leq 0.4 \mu m$
- Semi-brillante g  $Ra \leq 0.9 \mu m$
- Normale m  $0.6 \mu m \leq Ra \leq 1.9 \mu m$
- Rugueuse r  $Ra \leq 1.6 \mu$



**Figure 5 :** Bobines et tôles Skin Passées

- **Bobines et tôles Galvanisées**

**Désignation du produit :** produit galvanisé par immersion à chaud.

**Domaine d'application :** pour formage à froid.

### Dimensions :

- Epaisseur : 0.35 à 2.00 mm
- Largeur : 630 à 1250 mm

## Chapitre I : étude technologique

---

- Longueur de tôle : 1200 à 3300 mm

### Poids unitaire :

- Bobines : 18 tonnes max.
- Paquet de tôles : 1.5 à 4.00 tonnes

### Protection de surface :

C : passivation chimique

O : huilage

CO : passivation chimique et huilage



**Figure 6 : Bobines Galvanisées**

- Tôles Nervurées TN 40

**Désignation du produit :** produit galvanisé par immersion à chaud.

**Domaine d'application :** pour formage à froid.

### Dimensions :

- Epaisseur : 0.50 à 1.00 mm
- Largeur : 714 mm
- Longueur de tôle : 1000 à 9000 mm



## Chapitre I : étude technologique

---

### Poids unitaire :

- Paquet de tôles : 2.00 à 4.00 tonnes

### Passivation :

C : passivation chimique

O : huilage

CO : passivation chimique et huilage

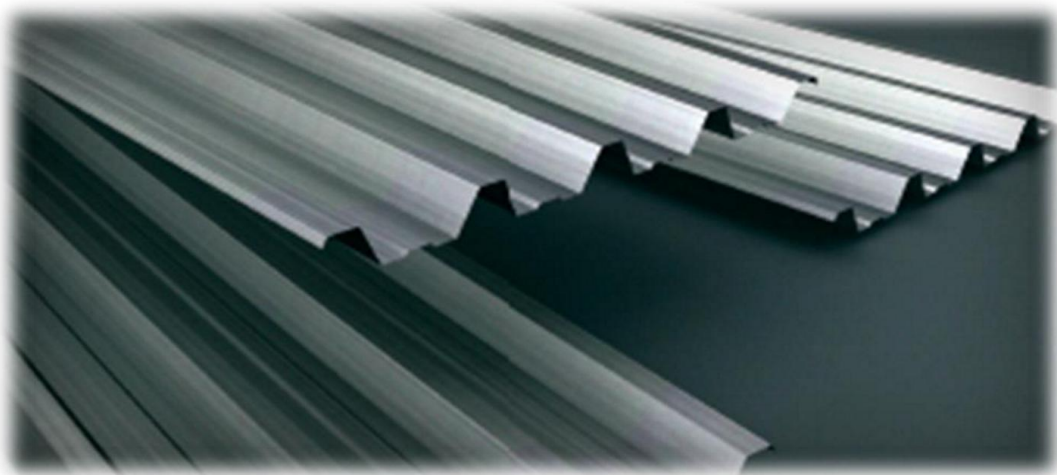


Figure 7 : Tôles Nervurées

- **Feuillard Galvanisé**

**Désignation du produit :** produit galvanisé par immersion à chaud.

**Domaine d'application :** pour cerclage, électroménager, construction etc...

### Dimensions :

- Epaisseur : 0.50 à 2.00 mm
- Largeur : 31 à 600 mm

### Poids unitaire :

- Paquet de tôles : 100 à 600 kg

### Passivation :

## Chapitre I : étude technologique

---

**C** : passivation chimique

**O** : huilage

**CO** : passivation chimique et huilage

- **Feuillard Laminé à froid**

**Désignation du produit** : produit décapé, laminé à froid (Etat écroui)

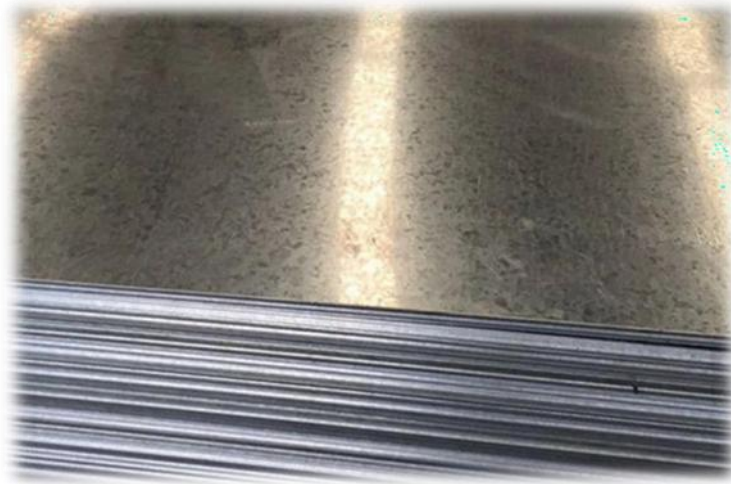
**Domaine d'application** : pour cerclage, électroménager, construction etc....

**Dimensions** :

- Epaisseur : 0.50 à 2.00 mm
- Largeur : 31 à 600 mm

**Poids unitaire** :

- Paquet de tôles : 100 à 600 kg



**Figure 8** : Feuillard Galvanisé I.1.5.b

**I.1.7.b Produits longs** :

- ❖ **Rond à Béton Nervuré Soudable**

**Désignation du produit** : produit laminé à chaud en acier d'usage général pour la construction haute adhérence.



## Chapitre I : étude technologique

---

**Domaine d'application :** barres nervurées en acier servant à renforcer les constructions ordinaires en béton et à constituer les armatures passives des constructions en béton précontraint.

**Dimensions :**

- diamètres : 10, 12, 14, 16, 20, 25 et 32 mm
- Largeur : 12 mm
- Largeur du façonné : 6 m et 9 m sur commande

**Poids unitaire du fardeau :**

- poids inférieur à 5 tonnes.



**Figure 9 :** Rond à Béton Nervuré

## Chapitre I : étude technologique

### I.1.8 Organisation de l'entreprise :

L'organisation ci-dessous représente les différentes installations.

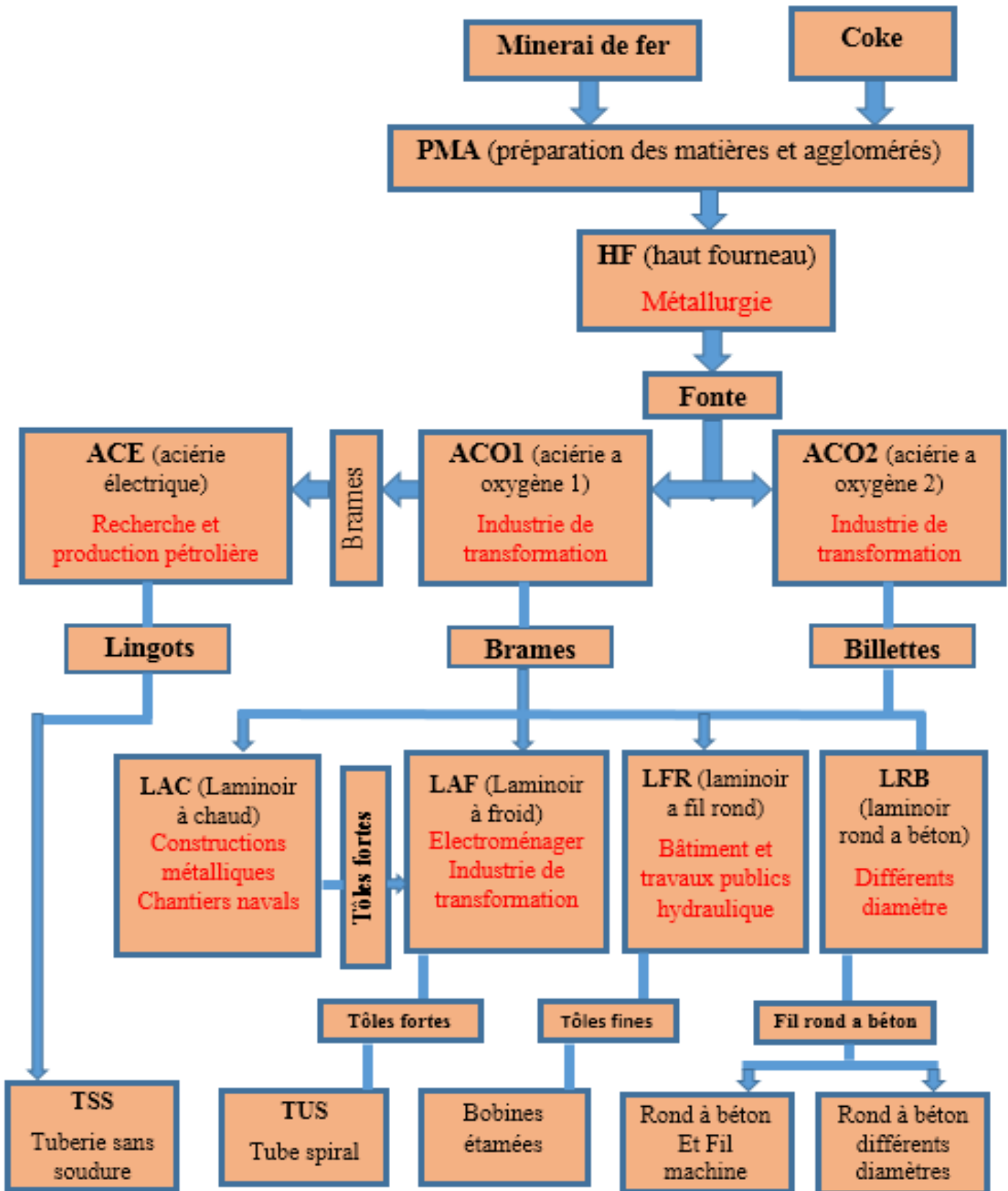
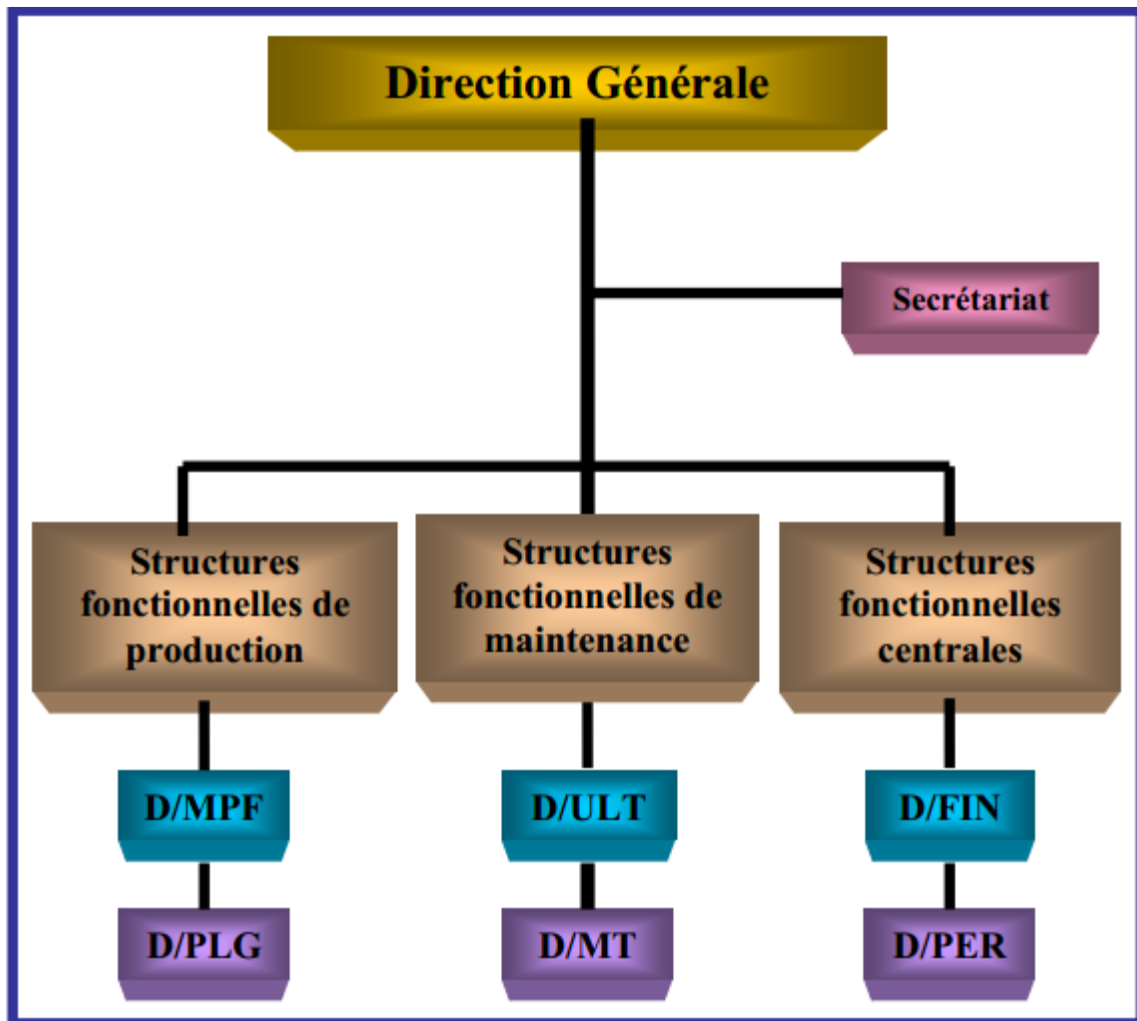


Figure 10 Organigramme d'Installations et produits du complexe

### I.1.9 Organisme de l'entreprise :



**Figure 11** Organisme de l'entrepris

Où :

- M.P.F : Matière première de fonte
- P.L.G : Produits longs
- P.P.L : Produit plat
- T.S.S : Tube rie sans soudure
- U.L.T : Unité logistique
- M.G.X : Moyens généraux
- F.I.N : Finance
- P.E.R : Personnel

# Chapitre II :

# Le laminage à froid

## Chapitre II : le laminage à froid

---

### I. Présentation du laminage

#### I.1 Description technologique du LAF

Par défaut d'obtenir, par le laminage à chaud, des bobines à des épaisseurs très minces (de l'ordre  $< 1.5$  mm) et l'élimination de l'oxydation superficielle de l'acier en contact de l'air avec des surfaces sans défauts, l'atelier LAF a été conçu pour répondre efficacement à ces problèmes, son rôle est d'avoir des tôles conformes du point de vue dimensionnelle (largeur par dérivage et épaisseur par laminage), aspect de surface, caractéristiques mécaniques et santé interne du métal.

Le laminoir à froid est équipé pour produire du fer blanc, de la tôle fine et de la tôle galvanisée.

Les différentes sections qui constituent le LAF sont : [1]

##### I.1.1 Une ligne de décapage à l'acide sulfurique :

C'est une opération importante qui précède nécessairement le laminage à froid dans le but d'enlever la couche d'oxydes appelées calamine, qui recouvre les bandes laminées à chaud et qui gêne le laminage à froid.

Cette calamine est sous forme de trois types d'oxydes :

- Oxyde ferrique  $Fe_2O_3$  (Stable)
- Oxyde magnétique  $Fe_3O_4$  (Instable)
- Oxyde ferreux  $FeO$  (Instable).

##### I.1.1.1 Section entrée :

Elle est conçue pour :

- Préparation des bobines et le découpage de leurs têtes et de leurs queues
- Décalaminage des couches superficielles
- Le soudage des bandes bout à bout pour avoir des bandes continues
- L'accumulation des bandes afin d'assurer une vitesse constante au niveau de la section de traitement, cette section comprend :
  - ✓ Une dérouleuse,
  - ✓ Une brise oxydes (Élimination des couches superficielles de calamine à l'aide des cassettes de cambrage),
  - ✓ Une soudeuse électrique,
  - ✓ Une série de rouleaux permettant d'assurer une traction suffisante de la bande,

## Chapitre II : le laminage à froid

- ✓ Un dispositif d'accumulation de la bande permettant de ne pas arrêter la bande dans le traitement de l'opération de soudage [1].

### I.1.1.2 Section de traitement :

Au niveau de cette section s'effectue le traitement chimique de la bande à l'aide de l'acide sulfurique. Elle est composée de :

- ✓ Quatre bacs de décapage à l'acide sulfurique  $H_2SO_4$ , ce sont des bacs de tôle recouverte d'un revêtement en caoutchouc puis garnis d'une maçonnerie en brique résistant aux acides
- ✓ Deux bacs de rinçage à l'eau froide
- ✓ Un bac de rinçage à l'eau chaude

### I.1.1.3 Section sortie :

Au niveau de cette section on rencontre :

- ✓ un dériveur pour la mise en large des bobines.
- ✓ une huileuse pour la protection des bobines durant le stockage.

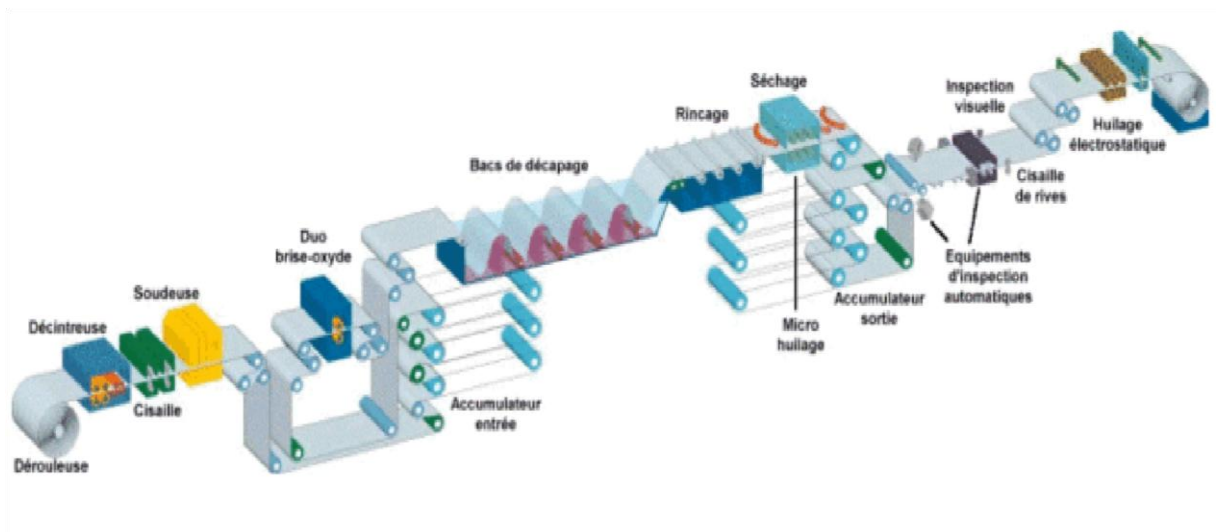


Figure 12 Schéma d'une ligne continue de décapage

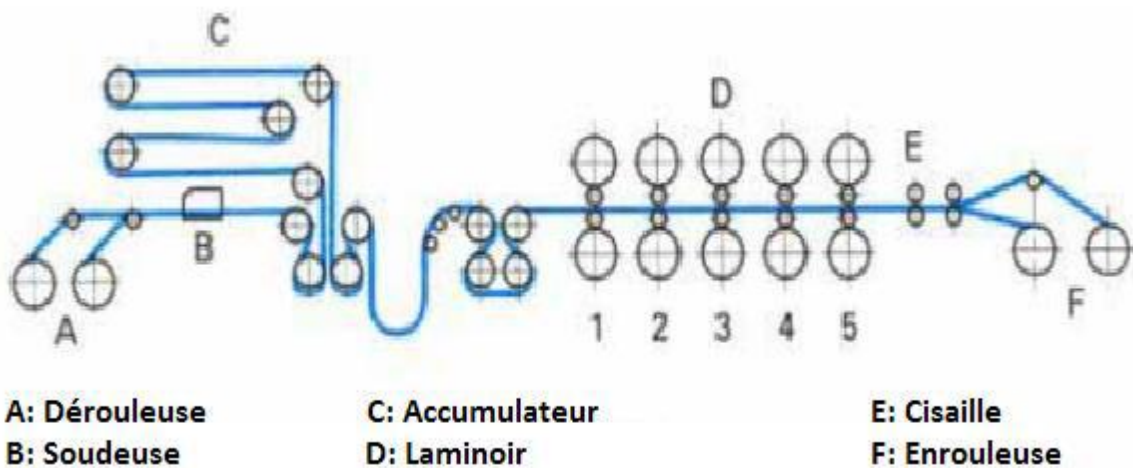
### I.1.2 Laminoir Tandem :

Un laminoir tandem à 5 cages, son rôle est de donner à la bande l'épaisseur finale demandée.



**Figure 13** Laminoir Tandem à 5 Cages au niveau SIDER EL HADJAR

### I.1.2.1 Description du laminoir



**Figure 14** Schématisation d'une ligne de production de Laminage à froid

Les sections constituant la ligne tandem sont :

**A. Section entrée :**



## Chapitre II : le laminage à froid

---

C'est la préparation de la bobine pour le laminage.

- **Dérouleuse** : cette dérouleuse alimente le laminoir en bandes, le double mandrin tient de chaque côté par expansion le cœur de la bobine pour faciliter l'introduction de la bande et le déroulement de la bobine.
- **Ouvreur** : Destiné à ouvrir la tête de la bande
- **Planeuse** : Destiné à planer la tête de la bande
- **Rouleau presseur** : destiné à presser la tête de la bande sur le chariot d'amenée à rouleau berceau
- **Guides de rives** : Destinées à guider la bande lors de l'introduction de la bande dans le laminoir.
- **Guides supports** : destinées à supporter pendant le laminage la bande dont la tête est planée
- **Rouleau pinceur** : Destiné à introduire la bande dans le laminoir.

### B. Section de laminage

Les 5 cages du laminoir tandem sont identiques, les caractéristiques suivantes sont applicables à chaque cage :

- ✓ Type fermé
- ✓ Fenêtre équipée de plaques d'usure trempée
- ✓ Vérin à partie inférieure pour serrage hydraulique hyrop
- ✓ Bloc hydraulique sur colonne
- **Empoises** : Les cylindres de travail s'appuient sur le palier à rouleau conique à 4 rangées. Les cylindres d'appui sont supportés par le palier à film d'huile.
- **Jauges à rayons X (RX)** : Pour contrôle de l'épaisseur de la bande
  - ✓ Type : avance transversale à commande par moteur
  - ✓ Jauge RX n° 1 : installée à la sortie de la cage 1
  - ✓ Jauge RX n° 5 : installée à la sortie de la cage 5
- **Cylindres** : Quatre cylindres par cage : deux cylindres de travail et deux cylindres d'appui.
- **Guides d'entrée** : pour la cage 1 utilisée comme presse pour introduction de la tête de la bande.



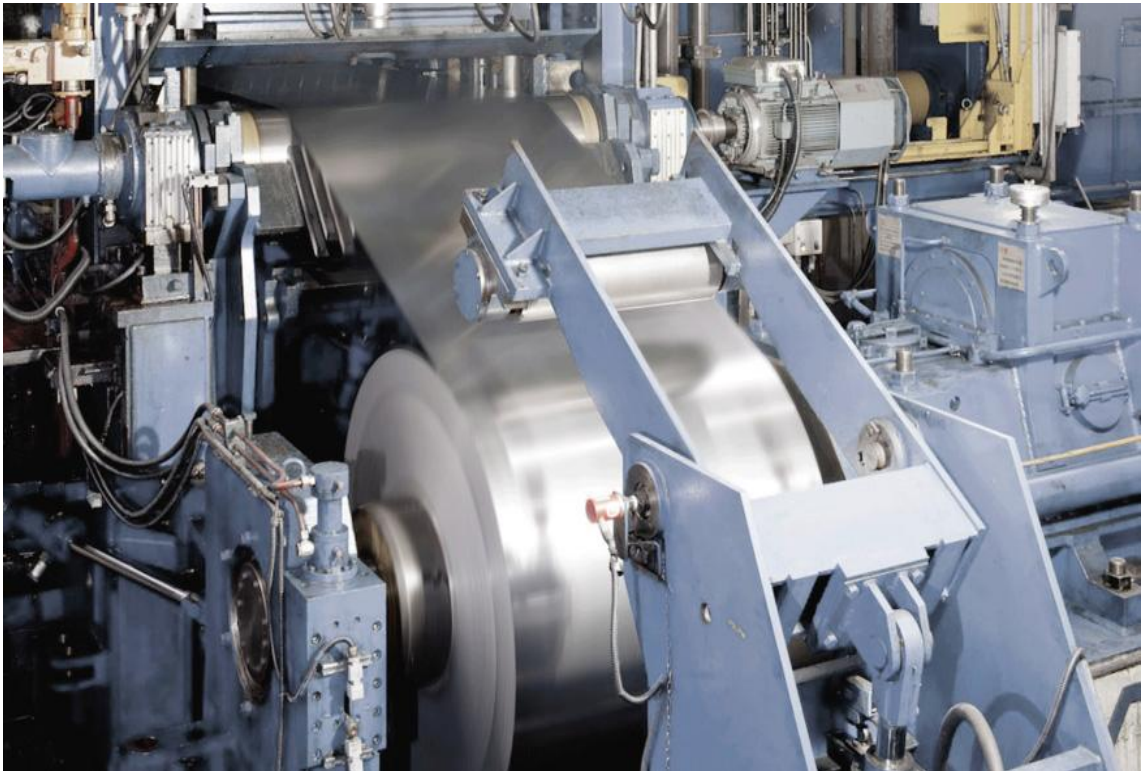
## Chapitre II : le laminage à froid

---

- **Guides de sortie** : protection contre rupture de bande.
- **Essoreur à air** : montée à la sortie des cages 1, 3,4 et 5
- **Guide de sortie inférieur** : installée à la sortie des cylindres de travail inférieur.
- **Hyrop F** : à contre réaction électrique.
- **Hyrop M** : à contre réaction mécanique.
- **Réglage de la ligne de passe** : Montée en haut de la cage.
- **Bloc hydraulique** : muni dans son intérieur d'un vérin hydraulique pour équilibrage des cylindres d'appui et d'un vérin hydraulique pour cambrage des cylindres de travail.

### C. Section sortie

- **Enrouleuse** : son rôle est d'enrouler la bande à l'aide d'un enrouleur à Courroie pour obtenir des bobines serrées.



**Figure 15** : enrouleuse (bobineuse)

- **Chariot d'amenée** : amène la bande de l'enrouleuse centrale de sortie
- **Table d'inspection de bande** [2].

## Chapitre II : le laminage à froid

**I.1.3 Une ligne de dégraissage électrolytique** : pour le nettoyage de la bande laminée au tandem des saletés provenant des huiles de laminage.

**I.1.4 Le recuit** : destiné à régénérer la structure cristalline du métal laminage à froid, sous des températures pouvant atteindre les 830°C dans un processus continu pour but d'avoir comme résultat attendu ; c'est l'homogénéité des propriétés de la tôle. Au cours du laminage à froid, celui-ci produit un durcissement et une perte de ductilité du métal. Il est devenu dur et cassant, et impropre à une utilisation. Ce recuit de recristallisation a pour objet de conférer à l'acier une taille de grain permettant l'obtention des caractéristiques mécaniques finales du produit. Deux procédés sont utilisés : Le recuit conventionnel en four « cloche » ou recuit base :



**Figure 16** : four de recuit SIDER ELHADJAR unité LAF



**Figure 17** : vue de l'intérieur four de recuit SIDER EL HADJAR Algérie unité LAF

Le recuit se fait dans des fours cloches dans lesquels les bobines sont empilées (voir Figure 19) sur des bases. A l'intérieur de cette cloche circule un gaz protecteur (mélange azote-hydrogène ou hydrogène pur).

Le four proprement dit vient coiffer cet ensemble et réalise un cycle.

- Chauffage lent (5 à 10 heures pour atteindre 710°C environ)

## Chapitre II : le laminage à froid

- Maintien (10 heures environ)
- Refroidissement lent pour revenir au Voisinage de la température ambiante.

Dans le cas du recuit continu, le but poursuivi est de faire subir à l'acier un traitement thermique rapide, homogène et uniforme afin d'obtenir une bande continue dans toute l'installation.

On trouvera sur une installation de recuit continu :

Des sections entrée et sortie (accumulateurs) qui évitent tout arrêt de la ligne

- Des fours qui peuvent comprendre jusqu'à cinq zones distinctes
- Le chauffage qui permet à la bande d'atteindre la température de recristallisation (620°C à 850°C suivant les produits)
- Le maintien est la zone dans laquelle la température est maintenue constante pour permettre la croissance du grain
- Le refroidissement lent qui permet de contrôler la texture du métal
- Le refroidissement rapide pour préparer l'acier au sur-vieillissement en gelant une quantité maximale de carbone en sursaturation
- Le sur-vieillissement qui précipite le carbone en solution et évite tout vieillissement ultérieur
- Le refroidissement final qui amène l'acier à température ambiante [3]

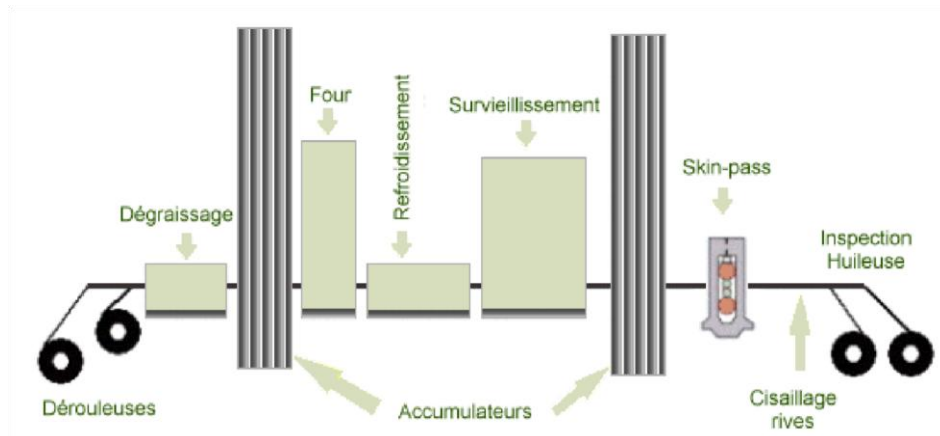


Figure 18 : procédé de recuit

### I.1.5 Skin-pass 1 et 2 : conçues pour :

- a) Donner à la bande la planéité et la rugosité demandées.
- b) Nettoyer la bande de la suie provenant des fours.
- c) Donner à la bande un certain allongement (de l'ordre de 0.8 %) [1].

## Chapitre II : le laminage à froid

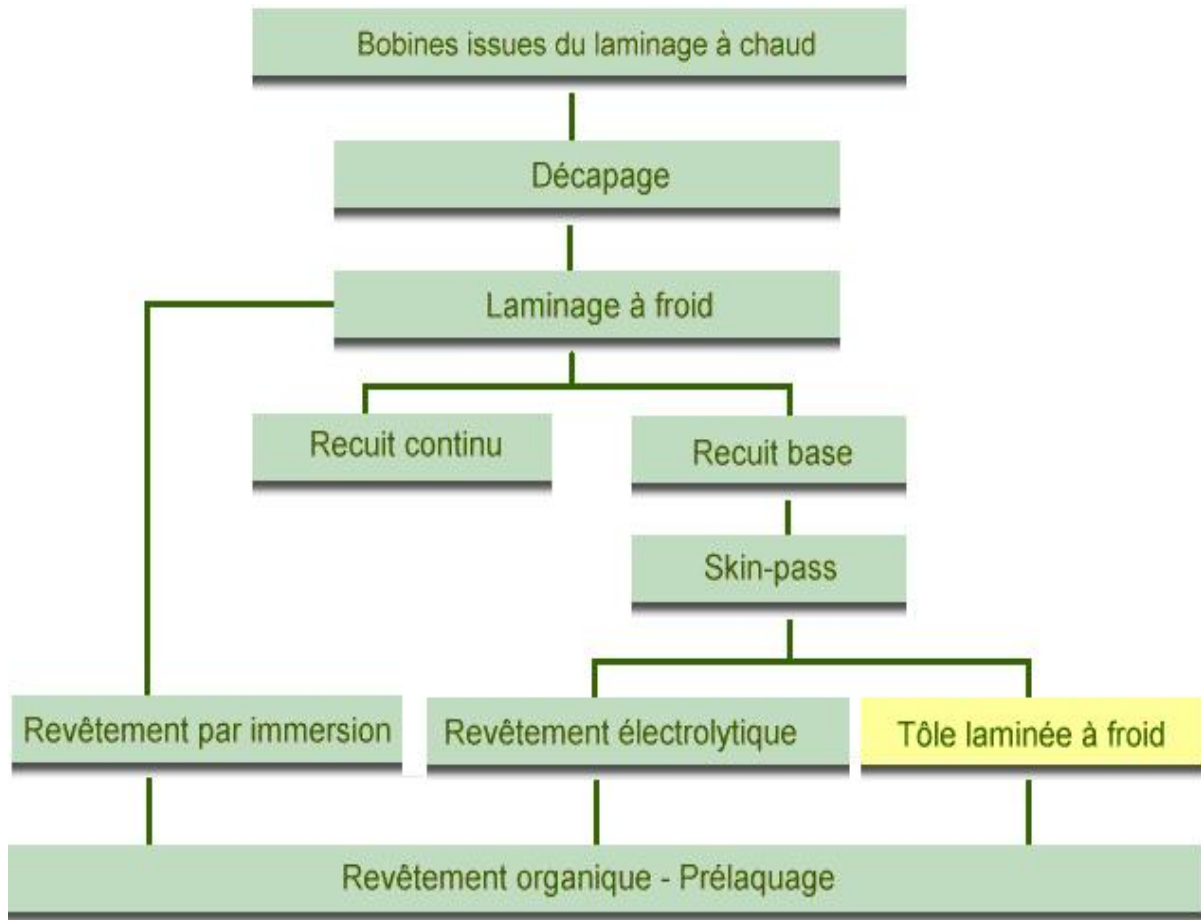


Figure 19 : descriptions technologiques du LAF.

### I.2 Principe de laminage

Le laminage à froid se fait par passage de la bande décapée entre des cylindres en présence d'efforts élevés simultanément en pression et traction.

La figure (17) représente une bande en cours de laminage dans de l'emprise entre des cylindre, dans chaque cage, la tôle est progressivement réduite de la première à la dernière cage l'épaisseur initiale  $e_{n-1}$ , à l'épaisseur  $e_n$  obtenue à la sortie .la réduction d'épaisseur et allongement de la bande à l'entrée et  $v_n$  la vitesse de la bande en sortie de la cage, on peut écrire :

$$V_{n-1} \times e_{n-1} = v_n \times e_n$$

La déformation s'effectue par déplacement et création de dislocation, dans des plans cristallographiques favorables.

## Chapitre II : le laminage à froid

### I.3 Opérations de laminage

La bobine est placée sur une dérouleuse ou le cerclage est coupé, la tête de la bobine est introduite dans la cage et coincée et guidée par les guides de rives à travers le laminoir, au cours du passage de la bande dans la 1<sup>o</sup> cage, une presse est actionnée à l'entrée dans le but d'obtenir une certaine tension pour effectuer la première réduction qui est faible, le laminage est fait par serrage des cylindres par l'intermédiaire des vérins hydraulique et le hyrop F pour la cage n° 1 et le hyrop M pour les autres cages.

La première réduction terminée, la bande passe dans la 2<sup>o</sup> cage et continue son chemin jusqu'à la dernière cage. La réduction d'épaisseur se fait entre bobineuse – débobineuse situé de chaque côté du train tandem et qui exercent une traction sur la bande, cette traction combinée à l'écrasement du métal par les cylindres permet d'obtenir des réductions variant de 60% à 90 %. La vitesse de la ligne est variable, son maxi est de 1800 m/min pendant le laminage, deux jauges à Rx sont placées, une à la sortie de la 1<sup>o</sup> cage et l'autre à la sortie de la 5<sup>o</sup> cage, le rôle de ces deux jauges est de détecter l'épaisseur de bande et de transmettre les informations. Un système électronique permet la correction par action sur la traction, sur la tension de la bande, sur la force d'écrasement et force de laminage.

Après laminage la bande est enroulée, inspectée, cerclée et envoyée pour subir les transformations ultérieures.

Cependant, au cours de laminage le refroidissement des cylindres de travail est réalisé soit à l'émulsion pour les cages 2 à 5 soit à l'eau pour la cage 1[2].

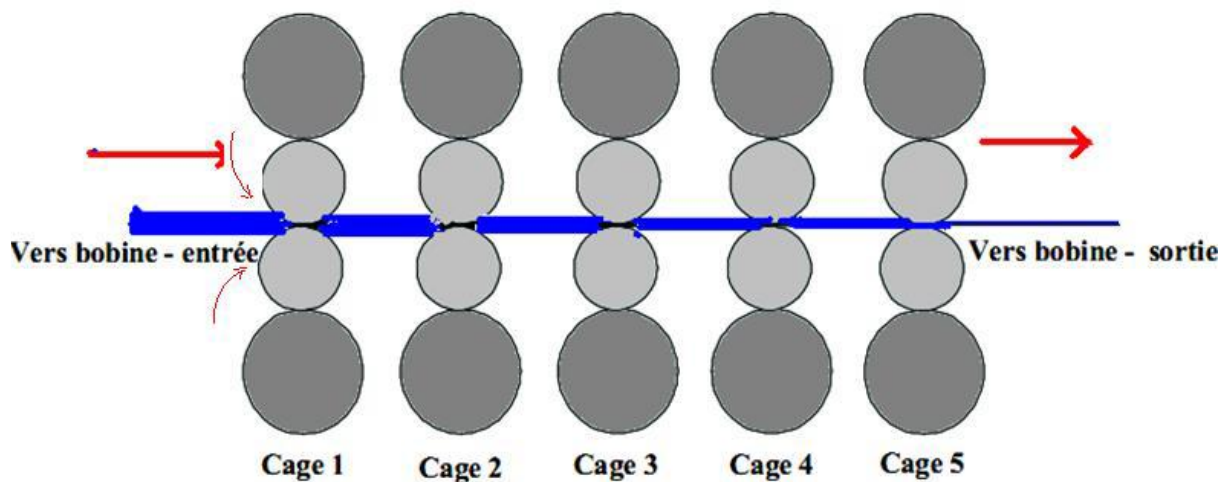


Figure 20 : laminage à froid tandem de Cinq-cages



## Chapitre II : le laminage à froid

### I.4 Procédé de laminage

L'épaisseur du produit laminé diminuant au cours de l'avancement entre les cylindres du laminoir, la vitesse varie aussi, la vitesse des cylindres est une vitesse intermédiaire entre la vitesse entrée et la vitesse sortie de la bande, il y a forcément glissement et il faut utiliser de l'huile au cours du laminage à froid pour faciliter ce glissement.

- a) Fer blanc : pour les produits très minces destinés au fer blanc, il est nécessaire d'utiliser qui, seules peuvent conserver leurs propriétés aux pressions appliquées. Au recuit, les huiles craqueraient avec distillation, il faut donc les éliminer par passage sur une ligne de dégraissage avant de recuire le métal.
- b) Tôle mince : pour les tôles minces laminées à froid, on utilise les huiles minérales en émulsion dans de l'eau (1 à 2 %), ces huiles étant éliminées par distillation au cours de l'opération de recuit (300 à 450 °C)

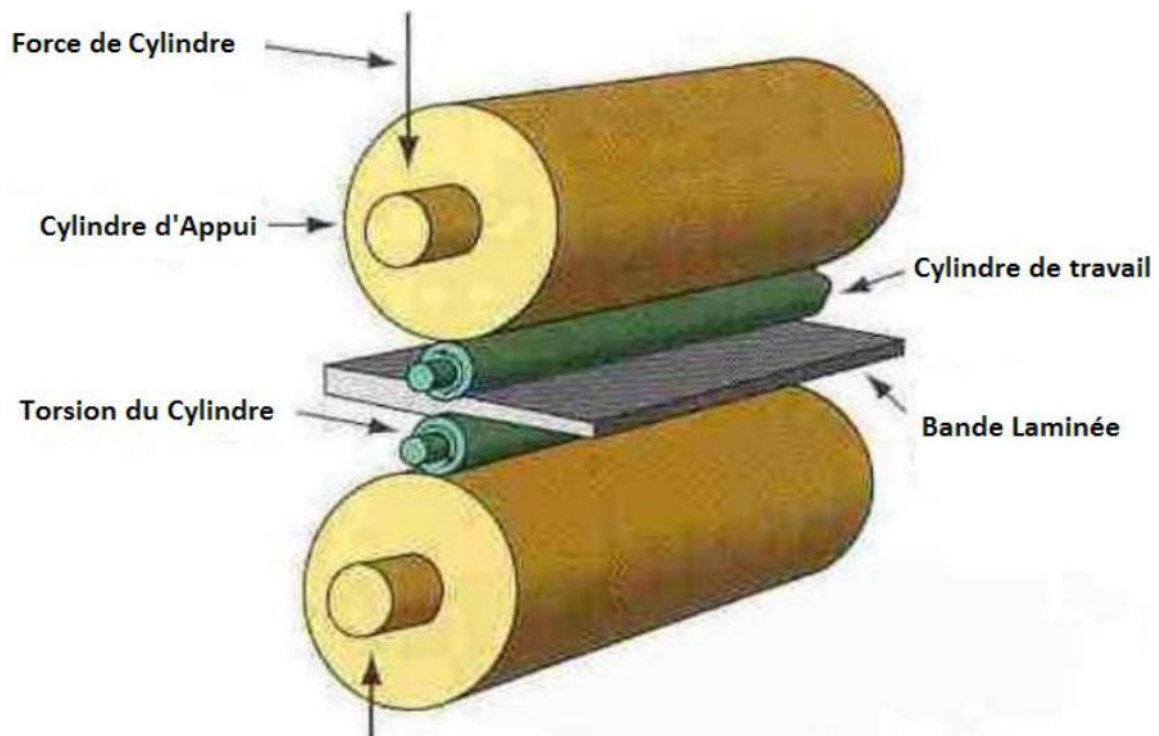


Figure 21 : Schéma illustrant les cylindres de travail d'un train de laminage

### I.5 Nécessite du laminage à froid.

Il paraîtrait logique d'obtenir, directement, des bandes minces par laminage à chaud, puisque la résistance à la déformation à chaud du métal est faible, donc l'effort de laminage à chaud de

## Chapitre II : le laminage à froid

---

l'acier se fait dans la phase (austénitique) à une température supérieure au point de transformation AC3, donc il n'y a pas d'écrouissage à la vitesse d'écrouissage, de ce fait le recuit est inutile.

Mais le train à chaud ne peut laminier au-dessous d'une température donnée (AC3) et la bande qui, en tête du train arrive à 1250 – 1300°C, se refroidit rapidement et cela d'autant plus que sa surface augmente, donc que son épaisseur diminue. En effet, les pertes de chaleur par convection et rayonnement sont proportionnelles à la surface d'échange, il en résulte que l'épaisseur minimale du coil (bobines de tôles) sera de 1,5 à 2mm, exceptionnellement 1,3 mm pour les coils de petites dimensions.

Si l'on voulait continuer le laminage à chaud, il faudrait réchauffer les coils\*, ce qui est impossible à cause du collage à chaud des spires.

De plus, la queue de la bobine est à une température inférieure à celle de la tête. Cette variation de température est assez sensible pour engendrer une différence de résistance à la déformation du métal, par conséquent l'effort de laminage augmente de la tête à la queue, la déformation élastique des cylindres de travail augmente aussi de même que l'épaisseur de la bande, on constate sur un coil, une variation progressive d'épaisseur entre la tête et la queue de l'ordre de 0,1 à 0,2 mm.

Enfin et surtout, la bande à chaud est recouverte de calamine, et, même décapée son aspect de surface est irrégulier. Lors du laminage à froid que le métal voit ses caractéristiques mécaniques changer. En effet, l'écrouissage local (déformation plastique) augmente la zone de déformation élastique, la limite d'élasticité est repoussée, mais la résistance à la rupture est constante (il s'agit d'une propriété interne du matériau).

Le laminage à froid est généralement réservé aux produits plats (tôles d'acier). Il transforme un produit laminé à chaud en bobine de métal de fine épaisseur (moins de 3 mm).

A l'échelle microscopique, la déformation plastique à froid est due essentiellement au mouvement des dislocations. La façon dont les dislocations se multiplient et sont freinées ou arrêtées par les divers obstacles (autres dislocations, élément d'alliage, joints de grains) détermine l'aptitude à la déformation plastique du métal et l'intensité de l'écrouissage [4].

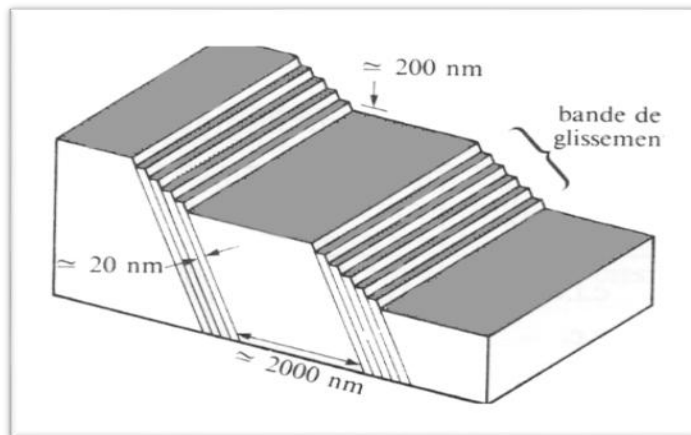
### I.6 Facteurs d'échauffement lors du laminage à froid.

Le laminage implique des interactions entre outils et produits laminés qui se traduisent par :

- **une pression** d'écrasement pour aplatir le métal,
- **un échauffement** : lorsqu'on déforme un métal il s'échauffe, plus ou moins, en fonction de sa nature, des pressions exercées, des vitesses pratiquées etc. Les cylindres de travail vont chauffer aussi.

## Chapitre II : le laminage à froid

### - Un glissement :



**Figure 22 :** Schéma de la formation de bandes de glissement

a) Le métal écrasé s'échappe dans tous les sens comme la pâte à tarte sous l'action des rouleaux. En s'échappant il frotte sur les cylindres.

b) Le métal entraîné dans les deux rouleaux du laminoir et qui s'étire notamment dans le sens de la marche, frotte entre les cylindres.

Il faut que le frottement dans le sens de la marche prédomine sinon la tôle se déplacerait en zigzag entre les cylindres et sortirait déformée en formant des vagues sur les bords (on appelle « rives » les bords des tôles laminées).

### - Un écrouissage :

Le métal ductile à l'entrée, ressort plus dur, donc moins malléable [4].

## II. La lubrification :

L'utilisation d'un lubrifiant lors du laminage à froid peut, en principe, avoir un effet bénéfique sur les mécanismes d'usure. L'interposition d'un film entre les surfaces frottantes atténue, en effet, l'usure par abrasion, d'autre part, ce film constitue un écran thermique réduisant le flux de chaleur échangé entre la bande et le cylindre et donc diminue l'amplitude des tensions thermiques [5].



## Chapitre II : le laminage à froid

---

### II.1 Le rôle principal du lubrifiant dans le laminage à froid :

**II.1.1 Réduction du frottement :** le lubrifiant est indispensable pour la réduction des forces de laminage, produire une haute qualité de l'état de surface de la bande en acier laminé, avec un meilleur contrôle du profil de la tôle, et réduire aussi le dépôt des ordures sur tôle.

**II.1.2 Refroidissement :** la lubrification permet de minimiser la température du cylindre de travail, la chaleur est causée à partir de la friction ainsi que la déformation, l'eau est un bon moyen de refroidissement, mais un pauvre lubrifiant. On peut citer les paramètres utilisés et qui ont influences :

**II.1.3 Emulsion :** contient 1,5-5% de surfactant ce qui empêche la cassure de l'huile libre dans des layers séparés, donc pas besoin d'agiter.

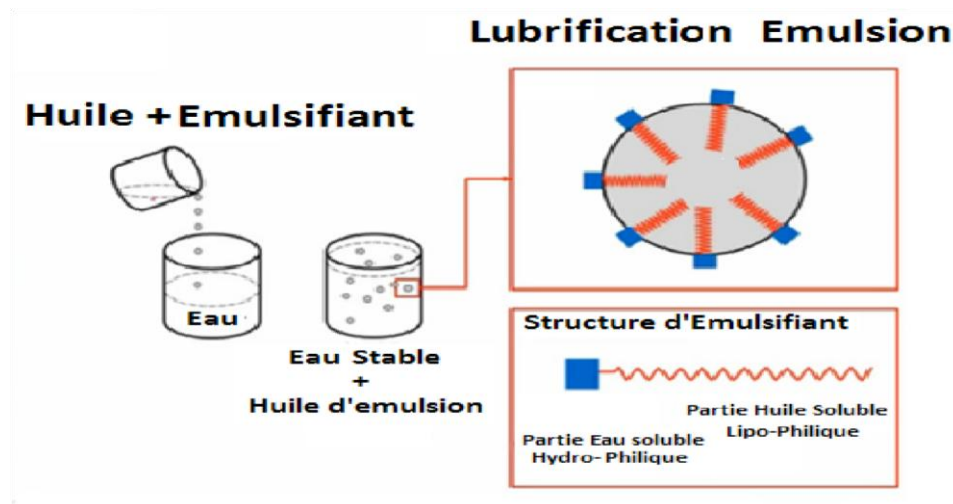
**II.1.4 Dispersion:** dans lequel les surfactants forment une couche protectrice sur la surface de la particule de l'huile en éliminant la coalescence, la distribution de la granulométrie des particules est plus étroite que dans le cas de l'émulsion. En position verticale la couche d'huile se sépare et peut facilement être dispersée par agitation mécanique.

Pour des Dispersions stables, le système entre émulsions et dispersions aucune, agitation n'est recommandée.

La propreté des surfaces : les lubrifiants causent le dépôt du Charbon.

### II.2 Formulation technologique des lubrifiants du LAF :

Les lubrifiants sont complexes et contiennent de 7 -15 composants chimiques additifs. Les esters et les huiles minérales sont en partie majoritaires. Les esters et les huiles minérales sont la base des lubrifiants et sont important dans la lubrification en régimes élasto-hydrodynamiques. Les acides gras sont importants dans les régimes limites. Les antioxydants protègent les lubrifiants contre l'oxydation et la polymérisation sont émulsifiants pour les mélanges des solutions au niveau des réservoirs contiennent des additifs à base de Phosphore : agents forts dans la formation de la couche limite contiennent des additifs à base de Soufre : additifs résistant à de fortes pressions contre le colmatage et l'adhésion des particules les unes aux autres.



**Figure 23** : Schématisation de la structure des microparticules d'émulsifiant

La plupart des théories sont basées sur l'hypothèse selon laquelle le coefficient de frottement  $\mu$  reste constant le long de l'arc de contact, (1 étant généralement choisi de manière à ce que l'effort de laminage calculé s'identifie à l'effort mesuré.

Contrairement à la théorie classique, dans les théories modernes, on suppose plus volontiers que la loi du frottement est du type "couche limite" qui se rapproche du frottement semi-fluide. Tout se passe comme s'il existait une couche entre outil et métal, parfaitement adhérente et plus tendre que le métal, la contrainte d'écoulement dans cette couche est notablement plus faible que celle du métal.

### II.3 Nature du lubrifiant :

L'objectif de ces études est donc de mettre au point une technique de lubrification particulièrement appropriée au laminage à froid.

Un lubrifiant est composé d'une huile de base qui peut être minérale ou de synthèse et d'additifs. Dans le cas d'une graisse, on ajoute à l'huile des additifs épaississants. Cet aspect ne sera pas abordé ici.

- huile végétale ou animale
- huile minérale
- huile compound
- huile synthétique à base d'ester.

L'huile est projetée au moyen d'une rampe distincte des rampes de refroidissement, ceci en vue de réduire la consommation d'huile et de disposer d'une plus grande souplesse dans le

## Chapitre II : le laminage à froid

réglage de la lubrification. Afin d'obtenir une bonne répartition du lubrifiant suivant la longueur de la table, la projection se fait, soit sur le cylindre de travail, soit sur le cylindre d'appui mais de telle sorte que le lubrifiant doive traverser la zone de contact entre les cylindres de travail et d'appui avant d'atteindre l'emprise.

### II.3.1 Les additifs

Les performances des lubrifiants sont généralement améliorées grâce à l'ajout d'additifs. Ces derniers peuvent être classés en trois catégories selon leur principale fonction :

#### 1. Protéger les surfaces :

- Détergent.
- Dispersant.
- Extrême pression, anti-usure.
- Anticorrosion.
- Modificateur de frottement.

#### 2. Améliorer le lubrifiant :

- Modificateur de viscosité.
- Modificateur de point d'écoulement.

#### 3. Protéger le lubrifiant :

- Antioxydant.
- Anti-mousse [6].

Additif	Rôle	Mode d'action
Anti-usure, extrême pression	Réduire l'usure et le frottement, prévenir du grippage.	Ces additifs réagissent chimiquement avec la surface métallique pour former un film sacrificiel présentant une résistance au cisaillement plus faible que le métal.
Anticorrosion	Empêcher la corrosion des surfaces.	Formation d'un film adsorbé sur la surface qui protège de la corrosion. Dans certains cas, additifs basiques

## Chapitre II : le laminage à froid

		pouvant neutraliser des acides corrosifs.
Détergent	Empêcher l'attaque des surfaces par des produits acides et limiter la formation de dépôt.	Forme une pellicule autour des particules les empêchant de se déposer. Réagit avec et neutralise les acides.
Dispersant	Empêcher l'agglomération des particules.	Les longues chaînes hydrocarbonées des dispersants maintiennent les particules en suspension dans l'huile.
Anti oxydation	Empêcher l'oxydation du lubrifiant.	Décompose les composants (hydro peroxydes) qui conduisent à l'oxydation des huiles.
Antimousse	Empêcher la formation de mousse dans le lubrifiant.	Réduit la tension de surface du lubrifiant pour faciliter la destruction des bulles d'air.
Modificateur de frottement	Modifier le coefficient de frottement entre les surfaces.	Forme un film adsorbé durable sur les surfaces qui réduit le frottement.
Modificateur de point d'écoulement	Faciliter l'écoulement à basse température.	Empêche la formation de réseaux cristallins qui gênent l'écoulement du fluide.
Modificateur de viscosité	Minimiser la variation de viscosité avec la température.	S'associe aux molécules de lubrifiant lorsque la température augmente de façon à limiter la chute de viscosité.

**Tableau 2** : Principaux additifs [6].

## Chapitre II : le laminage à froid

### II.3.2 Mode d'application :

Différents modes d'application peuvent être envisagés : parmi ceux la projection directe sur les cylindres d'huile pulvérisée mécaniquement ou par apport d'air comprimé.

### II.4 Caractéristiques physico-chimiques des huiles et émulsions :

La principale caractéristique des huiles de laminage est l'indice de saponification qui mesure la teneur en corps gras. C'est le nombre de milligrammes de potasse nécessaires pour neutraliser les acides gras libres et saponifier les esters contenus dans 1 g d'huile (100 à 140 pour le laminage de tôle mince, 190 pour le fer-blanc soit près de 100 % de corps gras).

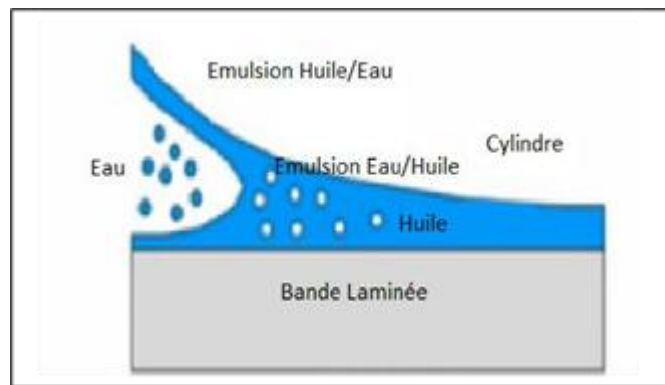


Figure 24 : Schématisation du mélange de Refroidissement et Emulsion

Les principales caractéristiques des émulsions sont :

- **la stabilité** qui mesure l'aptitude de l'émulsion à ne pas se séparer en ses deux phases huile et eau.
- **la taille des particules** qui influe sur la stabilité de l'émulsion et sur son pouvoir lubrifiant. Elle varie sous l'influence de la température, de l'agitation et de la pollution par le fer. Pour le laminage de tôle mince avec émulsion re-circulée, la taille souhaitable est 2 à 4  $\mu$  m avec une faible dispersion.
- **la teneur en fer** : exprimée en ppm masse (mg de fer par litre), doit être maintenue faible (inférieure à 40 mg/L) pour obtenir une bonne propreté après recuit (norme Ford : moins de 7 mg de carbone par m<sup>2</sup> de surface de bande).

# **Chapitre III :**

# **Les défauts de qualité**

# **de produit laminé**

# **à froid**

### I. Défauts liés à la lubrification

#### I.1 Défauts d'aspect

- **Les griffes de chaleur** apparaissent sur les cages intermédiaires.

Ce défaut visible sur la bande et sur les cylindres est provoqué par la rupture locale du film d'huile due principalement à une température trop élevée dans l'emprise. Une diminution de la vitesse de laminage stoppe le phénomène. Le remède est l'augmentation du refroidissement de la bande et des cylindres et/ou l'amélioration de la lubrification.

- **Le broutage**, appelé également *chatter*, est un phénomène vibratoire qui se traduit par des variations d'épaisseur, sous forme de bandes transversales alternativement claires (sous-épaisseur par régime hydrodynamique) et sombres (surépaisseur par frottement collant solide/solide) pouvant aller jusqu'à la rupture. Le broutage est dû à un phénomène d'auto-excitation de vibrations suite à l'interdépendance des tractions et des forces de laminage. La perturbation peut être d'origine mécanique (jeu au niveau de l'entraînement, des empoises...) ou provenir d'une diminution du frottement (sur lubrification ou usure des cylindres). L'installation d'accéléromètres sur les cages permet de détecter l'apparition des vibrations. On peut alors éviter le broutage en diminuant la vitesse de laminage. Il faut ensuite remédier à la cause si l'on veut accélérer sans risque de broutage.
- **Malpropreté**

La propreté des bandes après recuit se mesure par la teneur en **carbone résiduel** (mg de carbone par m<sup>2</sup>). Elle dépend de la quantité de résidus sur la bande après laminage et des conditions de recuit.

- **La quantité de résidus** est de l'ordre de 200 mg/m<sup>2</sup> (principalement des fines de fer, des huiles et savons). Elle dépend des conditions de lubrification (nature du lubrifiant, teneur en huile sur la dernière cage, teneur de l'émulsion en fer et en huiles étrangères, etc.) mais aussi des conditions d'exploitation du décapage et du laminoir (sur décapage, trop forte rugosité des cylindres des premières cages).

### II. État de surface d'un produit laminé à froid

Pour les tôles laminées à chaud décapées et les tôles laminées à froid, diverses finitions superficielles peuvent être demandées, variant du lisse au rugueux. Quand le formage de la tôle fait intervenir un frottement entre matrice et serre-flan d'un outil d'emboutissage, une certaine rugosité superficielle est nécessaire pour que ce frottement soit contrôlable sans

## Chapitre II : les défauts de qualité de produit laminé à froid

---

grippage. Par contre, quand la pièce doit subir un revêtement mince et brillant (un chromage, par exemple), une surface lisse est souvent demandée.

Le fini est obtenu par un choix adapté de la micro géométrie de surface des cylindres de la ou des dernières cages de laminoir (skinpass notamment) qui travailleront la tôle. C'est en effet cette micro géométrie qui s'imprimera plus ou moins complètement dans la tôle selon l'effort et les tractions de laminage qui lui seront alors appliqués. De nouveaux procédés de gravage des cylindres sont apparus récemment (gravage par micro-impacts laser, par électroérosion par faisceau d'électrons) et tendent à se substituer au procédé classique par grenailage.

Le choix de la finition est donc une opération délicate supposant une bonne connaissance de l'emploi final de la tôle. Les appareils et les méthodes de mesure de la micro géométrie superficielle des tôles ne font, à l'heure actuelle, l'objet d'aucune normalisation spécifique aux tôles : les mesures sont en effet très délicates et les relations entre leurs résultats, d'une part, et les propriétés d'emploi des tôles, d'autre part, ne sont pas clairement établies. Les spécifications concernant le fini des tôles sont donc définies par conventions particulières entre le producteur et son client.

L'aspect de surface des produits plats, et surtout des tôles laminées à froid pour pièces visibles, est un paramètre fondamental de leur qualité. En effet si, pour les tôles épaisses, des réparations locales (par meulage) sont admises pour autant que l'épaisseur ne soit pas trop entamée, les tôles fines qui reçoivent des revêtements, destinés tout à la fois à protéger le métal de la corrosion et à améliorer l'esthétique des pièces, doivent être pratiquement exemptes de défauts de surface, au moins sur la face visible.

En effet, ces revêtements minces et brillants, loin de masquer les défauts, révèlent au contraire les plus infimes irrégularités de surface.

Les défauts à craindre peuvent se ranger en quelques grandes catégories :

### **II.1 — défauts d'origine aciérie**

Qui se combattent par des soins appropriés au stade de l'élaboration et de la coulée du métal, et qui peuvent être corrigés, s'ils ne sont pas trop profonds, au stade de l'écricquage de la brame ;

### **II.2 — défauts d'origine thermique**

(Calamine incrustée, collage au cours du recuit) qui sont justiciables d'une surveillance étroite des températures et des atmosphères auxquelles est soumis le métal ;



### II.3 — rouille

Qui se développe aisément en cas de condensation de l'humidité atmosphérique ou de mouillage accidentel, tant que le métal n'est pas protégé par une huile appropriée ;

### II.4 — défauts d'origine mécanique

(Rayures, empreintes, brisures, etc.) Qui existent de façon endémique dans toutes les usines à produits plats et dont la fréquence doit être réduite, dans des limites acceptables, par une action incessante sur l'état mécanique et la propreté des installations et par la vigilance des opérateurs.

## III. Problématique de la qualité des produits laminés

### III.1 Objectifs qualité

L'usage très diversifié de l'acier dans l'industrialisation massive des produits de consommation, dans la construction, le transport et pour les engins de manutention, pour ne citer que ces domaines, conjugués aux exigences des consommateurs ont largement impulsé à la fois le développement des processus de fabrication de l'acier et l'amélioration de sa qualité en tout point de vue. Ainsi, pour les propriétés recherchées, nous trouvons des défis lancés par cette industrie et ayant connu du succès, par rapport à :

#### 1. La qualité géométrique

(tolérances d'épaisseur, largeur, planéité à la découpe, rectangularité du profil, ...) dépendant directement des systèmes automatisés de mesures, de formage et de découpe ;

#### 2. L'aspect de surface

correspondant au soucis fonctionnel et esthétique exigés par le consommateur, et pour lesquels des objectifs sont préalablement fixés tels que le nombre (minimum) de défauts de surface permis par bobine laminée. Ces défauts doivent d'ores et déjà être évités à chaque étape de la chaîne de fabrication : coulée continue, train à chaud, à froid, recuit et revêtement ;

#### 3. La santé interne

notamment pour les produits les plus minces destinés aux biens de consommation où un seuil des plus bas en matière d'inclusions conditionne l'acceptation du produit. L'étape critique, à ce niveau, est celle de la coulée continue de l'acier qui présente des risques de piégeage d'éventuelles impuretés dans l'acier liquide ;

## Chapitre II : les défauts de qualité de produit laminé à froid

---

4. **La pureté analytique par rapport à la nuance souhaitée** qui définit les caractéristiques mécaniques de l'acier laminé.

Néanmoins, malgré les avancées technologiques enregistrées et la maîtrise des processus, les objectifs d'amélioration de la qualité et d'optimisation restent des sujets majeurs d'études et de progrès, car bon nombres de défauts demeurent inévitables bien que minimisés. Bien des produits se trouvent déclassés ou même rebutés pour des raisons de non-conformité au cahier des charges et occasionnent des pertes et autres perturbations au niveau des chaînes de production. [7]

# **PARTIE EXPERIMENTALE**

# Introduction

Il est utile de porter à votre connaissance que la durée de mon stage au niveau du complexe sidérurgique EL HADJAR unité laminage à froid **LAF** a été non seulement perturbée par la pandémie du coronavirus, mais complètement interrompue, m'obligeant de limiter la partie expérimentale (analyse structurale de défaut, analyses micrographiques, analyse de défaut....) ainsi à me contenter d'une simple analyse statistique de l'évolution du défaut empreinte de collage durant les dernières années .

## I. Problématique

Les enregistrements quotidiens dans la vie des lamineurs du LAF ont permis de constituer une base de données qui leur permet d'avoir la traçabilité des informations, et de les répertorier d'une manière convenable. La notification des données et leur archivage, reste de la responsabilité de l'organisation, qui est à la tête la direction des opérations qui à son tour ventile et affecte à la demande, les inquiétudes faisant l'objet d'éventuelles recherches, de causes, de développement et de recherches dans le cadre de l'amélioration continue des conditions et des paramètres des différents processus de production et ce au niveau de chaque unité de production.

Les dernières années SIDER EL HADJAR, rencontre des problèmes de vente de ses produits suite à une concurrence rude, due essentiellement au surcoût engendré par la perte de matière, et au problème de qualité.

Durant les années 2018 et 2019, le laminoir à froid de SIDER EL HADJAR a enregistré un taux de déclassé vous trouvez dans les tableaux 1 et 2 les détails de déclassé de skin passe qui est de l'ordre de 16.75% en 2018 et 15.03% en 2019.

Le principal défaut qui affecte la qualité au niveau du skin passe c'est bien le défaut empreinte de collage.

## II. Statistique de déclassé LAF 2018 et 2019

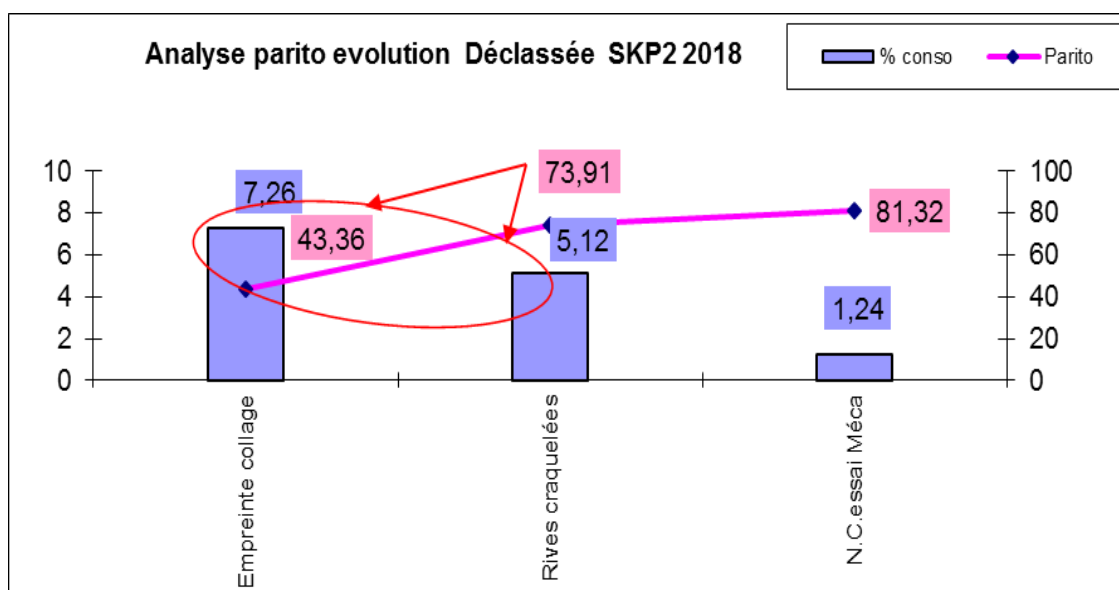
### II.1 Evolution de déclassée SKP2 2018

Motif déclassée	Tonnage	% consommation
-----------------	---------	----------------

## Partie expérimentale

Empreinte collage	2265,27	7,26
Rives craquelées	1596,25	5,12
N.C.essai Mécanique	387,16	1,24
Oxydation	299,54	0,96
Empreinte cylindre	249,48	0,80
Divers	427,13	1,37
<b>S/TOTAL</b>	<b>5224,83</b>	<b>16,75</b>
<b>Consommé</b>	<b>31184,070</b>	<b>100,00</b>

**TABLEAU 3 : Evolution de déclassée SKP2 2018 [8]**



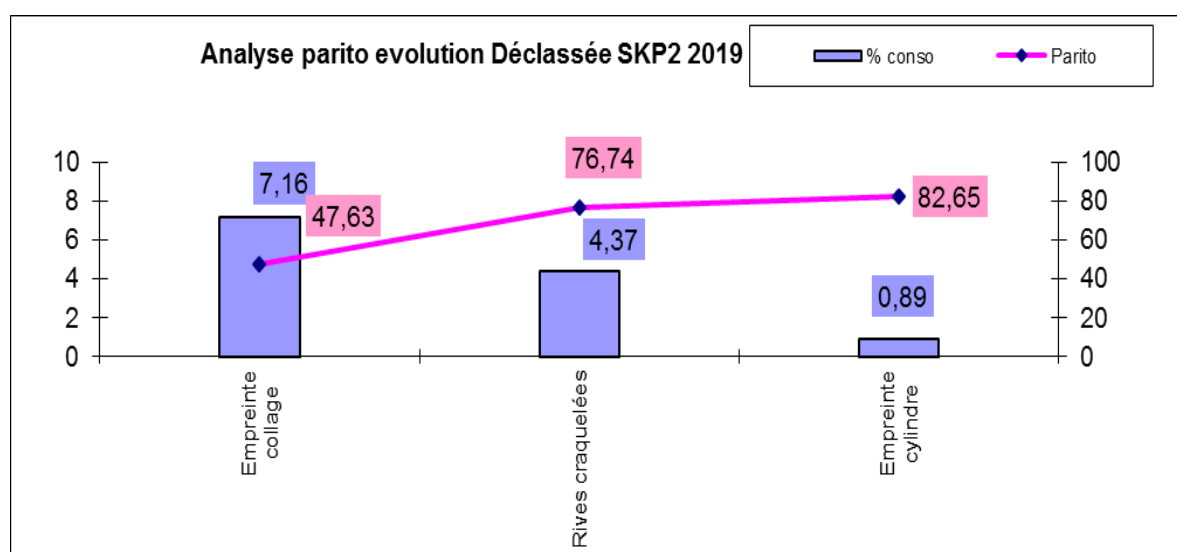
### II.2 Evolution de déclassée SKP2 2019

Motif déclassée	Tonage	% consommation
Empreinte collage	1383,35	7,16
Rives craquelées	845,55	4,37
Empreinte cylindre	171,63	0,89

## Partie expérimentale

Oxydation	164,83	0,85
Bleu de recuit	62,09	0,32
Divers	277	1,43
<b>S/TOTAL</b>	<b>2904,45</b>	<b>15,03</b>
<b>Consommé</b>	<b>19328,96</b>	<b>100,00</b>

**TABLEAU 4 : Evolution de déclassée SKP2 2019 [8]**



### III. Défaut empreinte de collage :

C'est un défaut de surface qui se présente comme des marques sur les deux surfaces de la bande skin-passée.

Ce défaut peut être raisonnée par des causes quand va essayer d'analyser une par une

Ce portrait représente le plan de maîtrise du défaut : empreinte de collage, ou on trouve l'évolution du défaut durant les années 2018/2019, les paramètres de contrôle du défaut et les plans d'actions pour maîtrise et amélioration du déclassée pour empreinte de collage.

Vous trouverez aussi la fiche de suivi déclassées qui doit être renseigné selon la matrice du défaut.

## Partie expérimentale

---



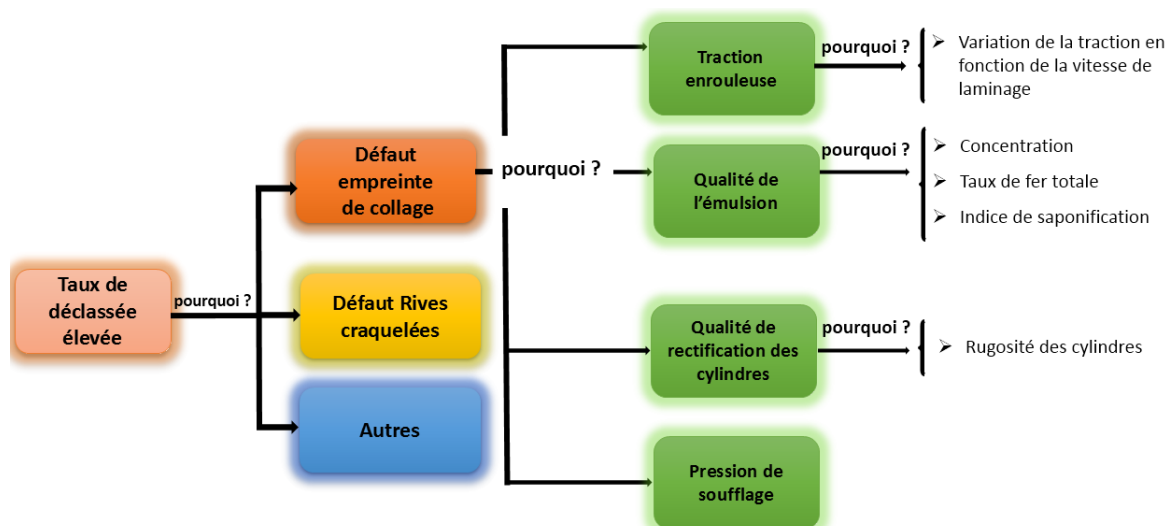
**Figure 25** : empreinte de collage

Nous signalons que le défaut empreinte de collage qui affecte énormément la qualité du produit laminé à froid n'a jamais été traité comme sujet pédagogique de recherche selon les responsables de qualité ainsi que ceux de la production malgré que c'est le facteur numéro un dans toutes analyses parito fixant les causes racine de la dégradation de la qualité du produit laminé à froid depuis plusieurs années.

En suivant les nouvelles orientations de la direction des produits plat qui rentrent dans le cadre de l'amélioration continue et le développement du plan de maîtrise du process, des réunions de déballage d'idées ou Brainstorming que j'avais l'honneur d'assister et qui a regroupé tout le staff de la production, process et de la qualité à fin de fixer les causes racines pourront générer ce type de défaut.

En utilisant la méthode d'analyse « why, why » ou « pourquoi, pourquoi » les résultats sont présentés sous une forme dite arbre des causes racines :

## Partie expérimentale



**Figure 26** : arbre des causes racines du défaut

En développant de plus en plus les causes racines à fin de les fixer par des actions adéquates nous sortons avec les informations mentionnées dans le tableau suivant :

cause racine
traction enrouleuse élevé
Qualité émulsion (taux de fer indice de saponification...)
Non maîtrise de Monter en vitesse de laminage
planéité de la bande (ondulation)
Rugosité et profil de cylindre
Insuffisance pression de soufflage air comprimé 5eme cage

**TABLEAU 5** : cause racines de défaut empreint de collage [8]

De notre côté en tant que support pédagogique, nous avons proposé de créer une base de données reliant l'évolution du déclassées pour empreinte de collage avec l'évolution de tous les paramètres qui peuvent être l'origine de sa création selon les résultats de l'analyse des causes racine à fin de montrer l'impact de chaque paramètre sur l'apparition du défaut et aussi de faciliter le suivi de l'efficacité des actions lancées pour corriger le défaut.

Vu les quantités de production annuelles plus ou moins faibles, nous avons lancé une analyse basée sur les données des deux dernières années 2018 et 2019 pour plus de fiabilité.



## Partie expérimentale

Les tableaux numéro 1 et 2 montrent les résultats de la qualité du produit laminé à froid skin-passé ou le déclassé était de l'ordre de 16.75% en 2018 et 15.03% en 2019 de la totalité de la production annuelle, ces quantités affectent énormément la mise au mille et par conséquent les coûts de transformation.

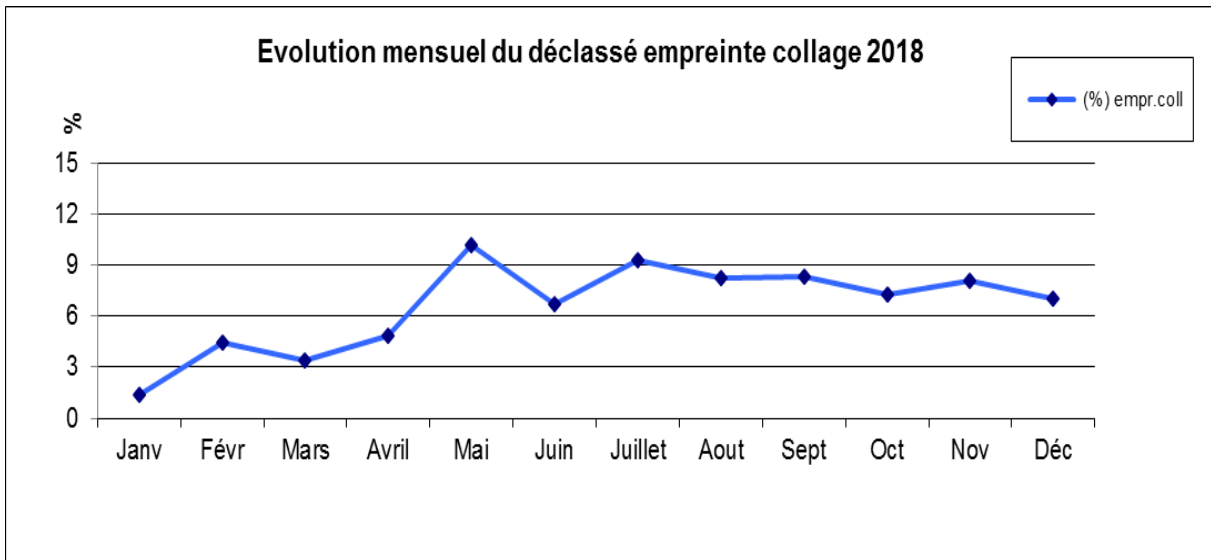
Les graphes numéro 1 et 2 sont le résultat d'une analyse paréto « 20/80 » qui détermine les 20% des causes qui ont engendré 80% du défaut ou on voit clairement que le défaut empreinte de collage est toujours présent en premier lieu comme cause de déclassés.

### III.1 Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2018

Mois	Empreinte collage	
	Tonnage (T)	(%) empr.coll
Janv	13,17	1,39
Févr	6,78	4,42
Mars	91,62	3,39
Avril	92,45	4,84
Mai	389,16	10,14
Juin	219,43	6,73
Juillet	291,03	9,27
Aout	135,68	8,24
Sept	144,03	8,35
Oct	283,66	7,28
Nov	340,96	8,07
Déc	257,3	6,99
Année	2265,27	7,26

TABLEAU 6 : Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2018 [8]

## Partie expérimentale

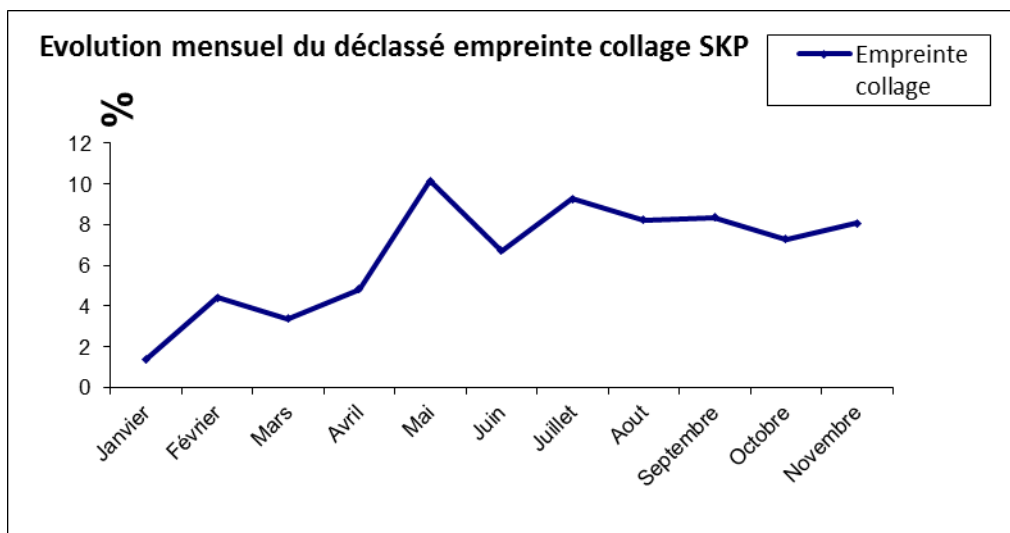


### III.2 Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2019

Mois	Empreinte collage	
	Tonnage (T)	(%) empr.coll
Janvier	205,71	8,18
Février	68,92	8,22
Mars	217,58	4,98
Avril	252,22	5,7
Mai	171,1	4,52
Juin	138,05	5,18
Juillet	116,93	3,87
Aout	109,69	8,19
Année	1280,20	5,58

**TABLEAU 7** : Evolution mensuel du défaut empreinte de collage SKP 2019 [8]

## Partie expérimentale



### IV. Les causes racines du défaut empreint de collage :

Selon les statistique de SIDER EL HADJAR du défaut empreinte de collage figure uniquement dans les premières spires alors notre travail va se focalisé sur l'étude de l'impact de certain paramètre qui si fixe à l'engagement de la bobine sur la bobineuse

#### IV.1 Traction enrouleuse

Contrairement aux tandems des pays développés, celui de SIDER EL HADJAR de par sa génération pourrait être la cause principale de l'Instabilité Lors du passage de la bande, en l'absence de contrôle de la vitesse, de la traction et de la réduction.

Ceci se traduit par :

- l'engagement de la bande à une vitesse réduite.
- la non assurance de la réduction de l'épaisseur des premières spires de la bobine
- l'impossibilité de contrôle de la vitesse causant ainsi une forte traction (brutale) entre la dernière cage du tandem et l'enrouleuse.

**NB :** Il est à noter que les statistiques ont fait ressortir que 99% du défaut réside sur les quelques premières spires de la bobine au moment où la traction est très élevé

Journée	Equipe	N° bob	Dimension	Longueur bande	traction enrouleuse (T)	Vitesse (m/min)
26/02/2020	A	490979	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>6,2</b>	270
				100 m	<b>6,1</b>	400
				150 m	<b>7,2</b>	450
				200 m	<b>6,8</b>	500
				250m	<b>6,5</b>	690

## Partie expérimentale

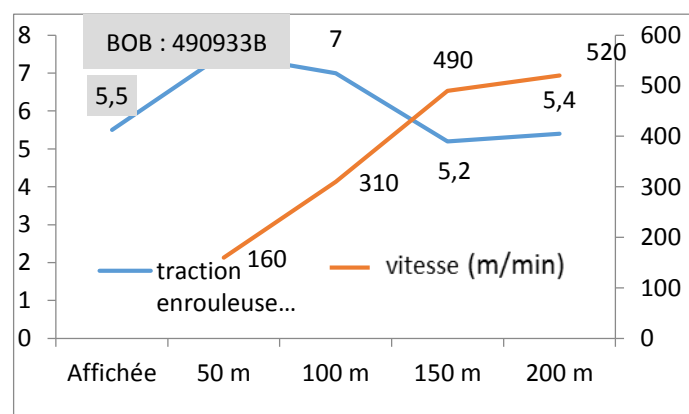
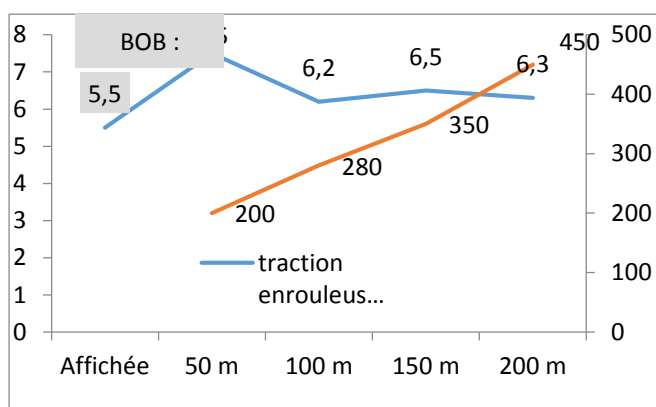
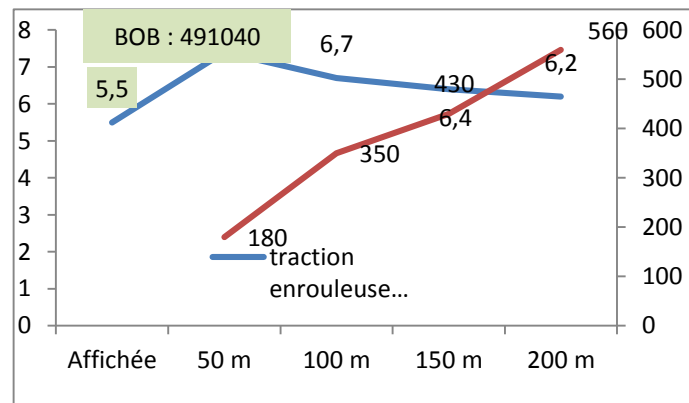
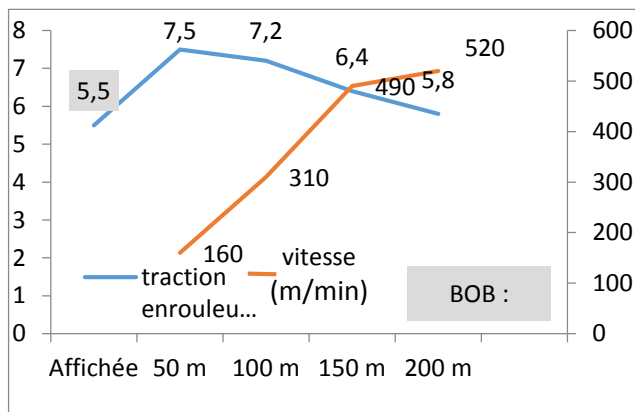
26/02/2020	A	490978	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>5</b>	180
				100 m	<b>6,8</b>	300
				150 m	<b>6,7</b>	350
				200 m	<b>6,4</b>	450
26/02/2020	A	490983	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>7,5</b>	200
				100 m	<b>6,2</b>	280
				150 m	<b>6,5</b>	350
				200 m	<b>6,3</b>	450
26/02/2020	A	490974	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>7,5</b>	160
				100 m	<b>7,2</b>	310
				150 m	<b>6,4</b>	490
				200 m	<b>5,8</b>	520
26/02/2020	A	491033B	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>7,5</b>	160
				100 m	<b>7</b>	380
				150 m	<b>5,2</b>	420
				200 m	<b>5,4</b>	520
26/02/2020	A	491040	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>7,4</b>	180
				100 m	<b>6,7</b>	350
				150 m	<b>6,4</b>	430
				200 m	<b>6,2</b>	560
26/02/2020	A	491039A	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>7,2</b>	180
				100 m	<b>7,5</b>	340
				150 m	<b>6,8</b>	670
				200 m	<b>7,1</b>	720
26/02/2020	A	491038A	1,50x1250	Affichée	<b>5,5</b>	
				50 m	<b>7,5</b>	200
				100 m	<b>7,5</b>	380
				150 m	<b>7,3</b>	450
				200 m	<b>7,2</b>	570
27/02/2019	A	490984A	1,50x1251	Affichée	<b>5,5</b>	
				250 m	<b>7,5</b>	200
				300 m	<b>7,5</b>	330
				350 m	<b>7,1</b>	370
				400 m	<b>6,9</b>	477
28/02/2019	A	491129	1,50x1252	Affichée	<b>5,5</b>	
				450 m	<b>7,5</b>	160
				500 m	<b>6,9</b>	200
				550 m	<b>7,1</b>	400
				600 m	<b>7,2</b>	489
01/03/2019	A	490998	1,50x1253	Affichée	<b>5,5</b>	
				650 m	<b>7,4</b>	190
				700 m	<b>7,5</b>	315
				750 m	<b>6,9</b>	380
				800 m	<b>7</b>	440
02/03/2019	A	490987	1,50x1254	Affichée	<b>5,5</b>	
				650 m	<b>7,4</b>	180
				700 m	<b>7,2</b>	310
				750 m	<b>6,7</b>	373
				800 m	<b>7,3</b>	440
03/03/2019	A	490979B	1,50x1255	Affichée	<b>5,5</b>	
				850 m	<b>6,2</b>	270

## Partie expérimentale

			900 m	<b>6,1</b>	400
			950 m	<b>7,2</b>	450
			1000 m	<b>6,8</b>	500

**TABLEAU 8 : suivi traction enrouleuse [8]**

### Evolution graphique traction et vitesse [8]



Durant notre stage on a suivi le paramètre traction enrouleuse pour un nombre de 13 bobines en fonction de l'évolution de la vitesse de laminage les résultats on illustré dans le tableau 8 et qui montrent clairement que la traction dépasse de loin la valeur nominale spécialement aux premières 200 mètre de la bobine et qui permet à un serrage trop forcé des spires entre elles

Ce phénomène facilite probablement le collage des spires entre elles à la présence d'autres facteurs qui seront étudié ultérieurement

Selon les lamineurs du tandem ce problème est inévitable vu le mode manuelle de laminage ainsi la vétusté des équipements (la régulation)

## Partie expérimentale

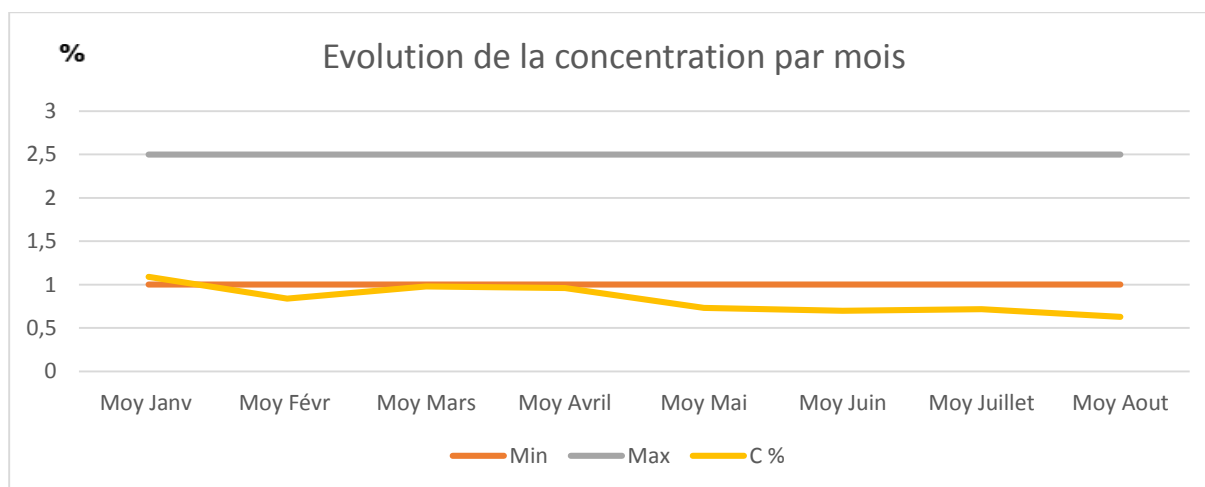
### IV.2 Qualité d'eau d'appoint pour émulsion

#### IV.2.1 Concentration huile d'émulsion

##### IV.2.1.1 Evolution de la concentration d'huile d'émulsion TDM de l'année 2018

Mois déclassée /018	Min	Max	C %
Moy Janvier	1	2,5	1,1
Moy Février	1	2,5	0,8
Moy Mars	1	2,5	0,98
Moy Avril	1	2,5	0,96
Moy Mai	1	2,5	0,73
Moy Juin	1	2,5	0,7
Moy Juillet	1	2,5	0,72
Moy Aout	1	2,5	0,63

**TABLEAU 9** : Evolution de Concentration de huile d'émulsion /2018 [8]



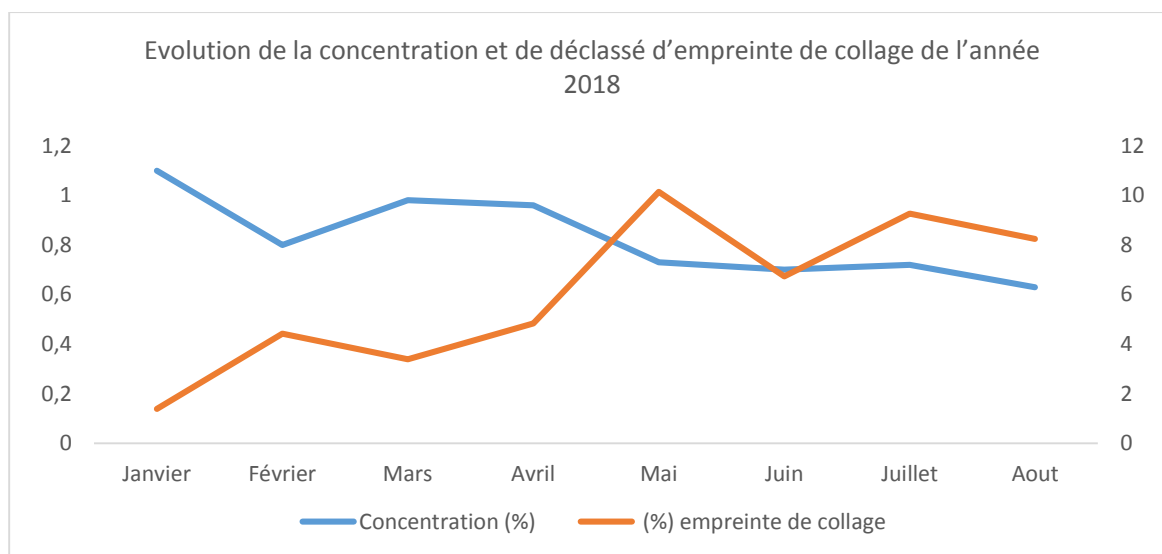
##### IV.2.1.2 Evolution de la concentration huile d'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018

Mois déclassée /2018	Concentration (%)	(%) empreinte de collage
Janvier	1,1	1,39
Février	0,8	4,42
Mars	0,98	3,39

## Partie expérimentale

<b>Avril</b>	<b>0,96</b>	4,84
<b>Mai</b>	<b>0,73</b>	10,14
<b>Juin</b>	<b>0,7</b>	6,73
<b>Juillet</b>	<b>0,72</b>	9,27
<b>Aout</b>	<b>0,63</b>	8,24

**TABLEAU 10** : L'évolution de la concentration huile d'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018 [8]



Les résultats de la concentration qui sont généralement hors de la fourchette nominale recommandée par le processe, influent clairement sur l'évolution du taux de déclassé pour empreinte de collage

Ceci peut être expliqué par l'absence du film d'huile entre les cylindres et la bande dans certaine partie suite à la baisse de la concentration

Certaines particules ferreux peuvent être collées sur la bande dans les zones non huilées entre cylindre et la bandes qui peuvent se développer dans les fours de recuit pour former l'empreinte de collage

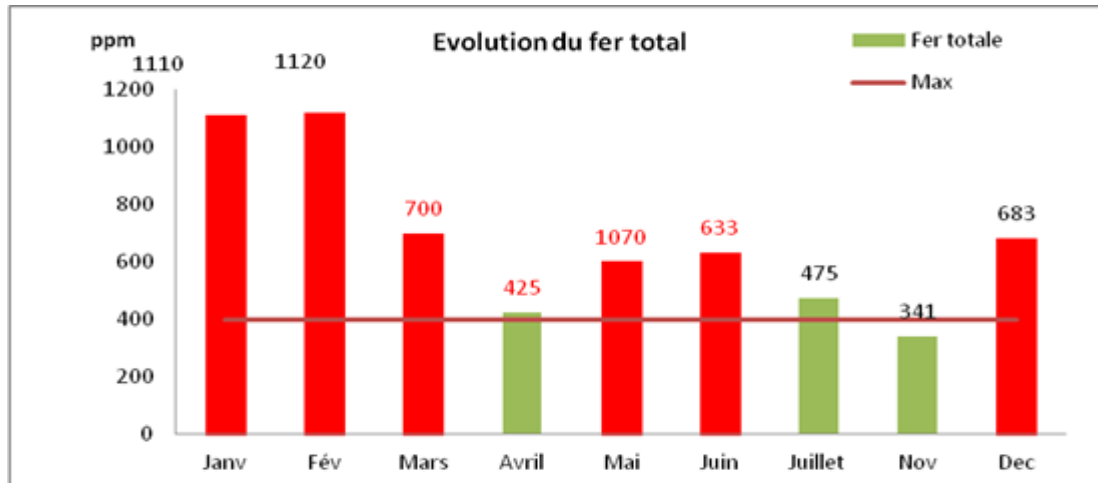
**IV.2.2 Taux de fer total** doit être maintenue faible (inférieure à 40 mg/L) pour obtenir une bonne propreté après recuit. [9]

### IV.2.2.1 Evolution du fer totale TDM de l'année 2018

## Partie expérimentale

Mois déclassée /2018	Max (ppm)	Fer totale (ppm)
Janvier	400	1110
Février	400	1120
Mars	400	700
Avril	400	425
Mai	400	602
Juin	400	633
Juillet	400	475
Novembre	400	341
Décembre	400	683

**TABLEAU 11 : L'évolution du fer totale TDM de l'année 2018 [8]**



### IV.2.2.2 Evolution du fer totale et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018

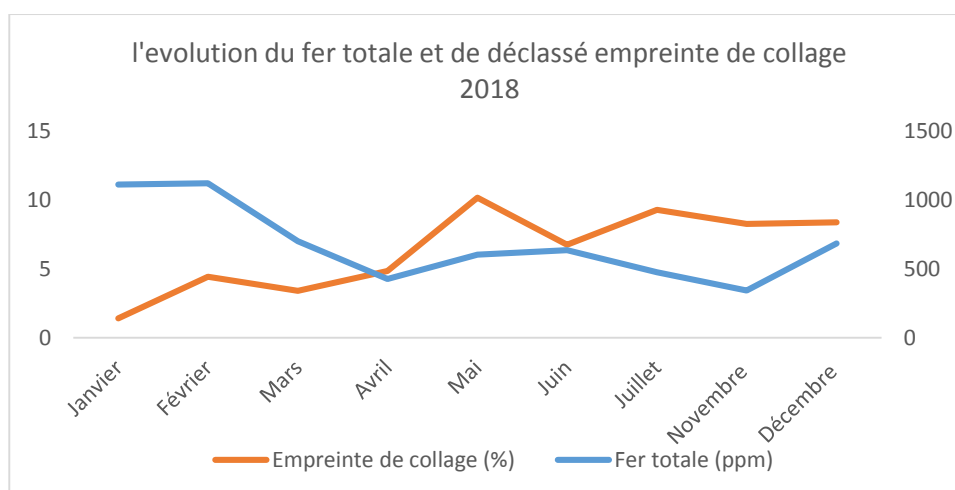
Mois	Fer totale (ppm)	Empreinte de collage (%)
Janvier	1110	1,39
Février	1120	4,42



## Partie expérimentale

<b>Mars</b>	<b>700</b>	<b>3,39</b>
<b>Avril</b>	<b>425</b>	<b>4,84</b>
<b>Mai</b>	<b>602</b>	<b>10,14</b>
<b>Juin</b>	<b>633</b>	<b>6,73</b>
<b>Juillet</b>	<b>475</b>	<b>9,27</b>
<b>Novembre</b>	<b>341</b>	<b>8,24</b>
<b>Décembre</b>	<b>683</b>	<b>8,35</b>

**TABLEAU 12** : L'évolution du fer totale TDM de l'année 2018 [8]



Les résultats montrent, que l'évolution du déclassé par empreinte de collage est inversement proportionnelle au taux de fer dans l'émulsion, sauf qu'il est incohérent par rapport à la logique, ou en s'attendait que le défauts empreinte de collage serait à l'origine d'une micro soudure entre les spires causée par les particules de fer libre dans l'émulsion

d'où vient la nécessité de lancer dans le future d'autres études chimiques, structurales et mécaniques pour vérifier cette théorie.

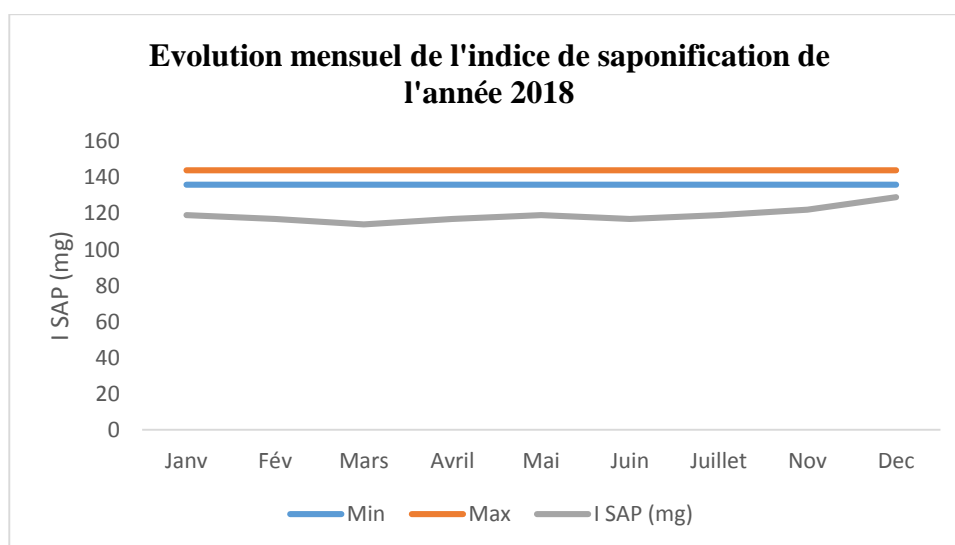
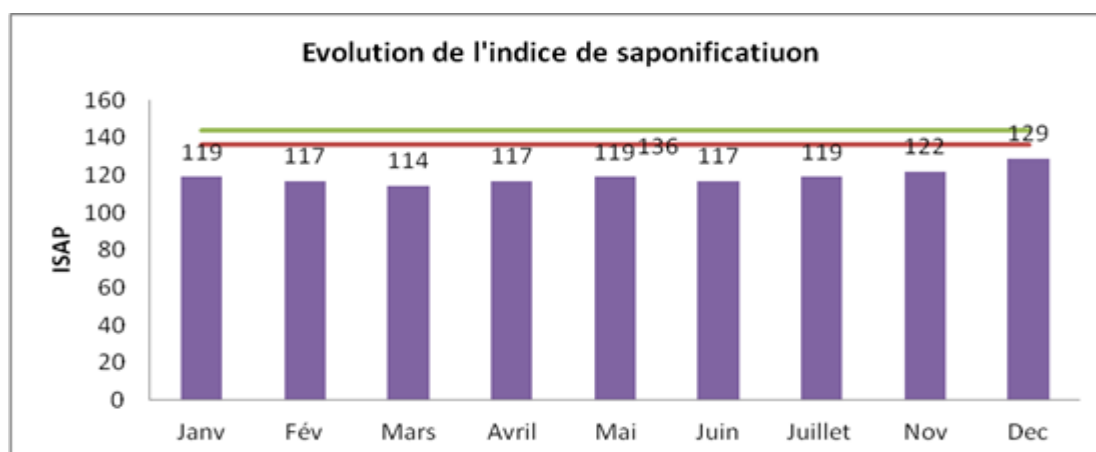
**IV.2.3 L'indice de saponification ( $I_s$ )** d'un lipide est la masse d'hydroxyde de potassium KOH, exprimée en milligrammes, nécessaire pour neutraliser les acides gras libres et saponifier les acides gras estérifiés contenus dans un gramme de matière grasse. [9]

### IV.2.3.1 Evolution de l'indice de SAP de l'émulsion TDM de l'année 2018

## Partie expérimentale

Mois déc /018	Min (mg)	Max (mg)	I SAP (mg)
Janv	136	144	119
Fév	136	144	117
Mars	136	144	114
Avril	136	144	117
Mai	136	144	119
Juin	136	144	117
Juillet	136	144	119
Nov	136	144	122
Dec	136	144	129

**TABLEAU 13 :** L'évolution de l'indice de SAP de l'émulsion TDM de l'année 2018 [8]

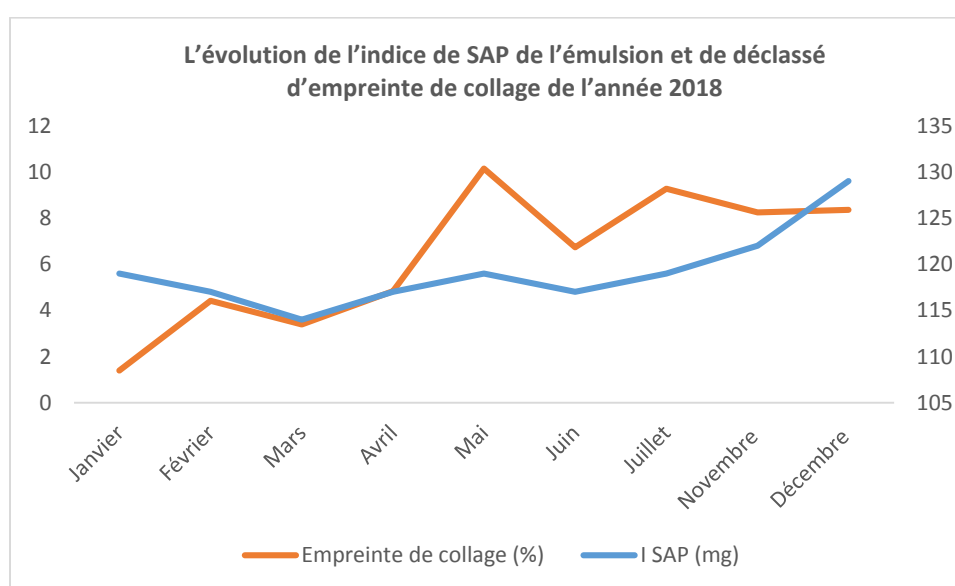


## Partie expérimentale

### IV.2.3.2 Evolution de l'indice de SAP de l'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018

Mois	I SAP (mg)	Empreinte de collage (%)
Janvier	119	1,39
Février	117	4,42
Mars	114	3,39
Avril	117	4,84
Mai	119	10,14
Juin	117	6,73
Juillet	119	9,27
Novembre	122	8,24
Décembre	129	8,35

**TABLEAU 14 :** L'évolution de l'indice de SAP de l'émulsion et de déclassé d'empreinte de collage de l'année 2018 [8]



## Partie expérimentale

---

Les résultats de l'évolution de l'indice de saponification ne montrent pas une cohérence avec ceux de l'évolution de déclassé, ce qui me permet de conclure que les micros soudures entre les spires ne sont pas d'origine non métallique

### IV.3 Qualité de rectification des cylindres

Pour l'impact de la qualité de rectification de cylindre entre le profile et la rugosité on s'est limité à des audits de suivi du département processe effectué sur les cylindres durant les mois décembre 2018 et janvier 2018 ou en constate :

- La rugosité des cylindres varie entre 25 et 35  $\mu$  inch

Cet écart est dû selon des responsables a l'état dégradé de la machine de rectification

Notre hypothèse ce base sur l'effet que pour une rugosité élevé les particules libre dans l'émulsion vont trouver des logements est ne seront pas collé entre les spires, pratiquement le contraire va se passé si la rugosité est faible

### IV.4 Pression de soufflage

On s'est limité par notre analyse de l'impact de pression de soufflage sur le déclassée du défaut empreinte de collage sur les audits réalisés par le département qui illustre que la pression au lieu d'être entre 4,5 et 6 bar elle est de 3 à 5 bar.

Notre hypothèse :

Si la pression est élevée elle va permettre de dégager toute l'émulsion sur la bobine, il ne reste pas de particules libre se piégés entre les spires

Plus la pression est faible, plus les particules ont tendance a rester collées sur la bande jusqu'à ce qu'elles soient piégées

# Conclusion générale :

Pour conclure il m'a été très utile de vous informer que cet humble mémoire reste insuffisant par rapport au plan tracé qui devait comprendre l'analyse chimique, la mesure de la micro dureté, et la micro structure du défaut de collage, et ses alentours pour avoir une idée sur la nature le défaut de l'inclusion ainsi que le moment, l'endroit de la micro soudure. Néanmoins, il est utile de citer entre autre quelques éléments pouvant contribuer à l'apparition des défauts en question.

Contrairement aux tandems des pays développés, celui de SIDER EL HADJAR de par sa génération pourrait être la cause principale de l'instabilité lors du passage de la bande, en l'absence de contrôle de la vitesse, de la traction et de la réduction. Ceci se traduit par :

- l'engagement de la bande à une vitesse réduite.
- la non assurance de la réduction de l'épaisseur des premières spires de la bobine
- l'impossibilité de contrôle de la vitesse causant ainsi une forte traction (brutale) entre la dernière cage du tandem et l'enrouleuse.

Durant mon stage, on a suivi le paramètre traction enrouleuse pour un nombre de 13 bobines en fonction de l'évolution de la vitesse de laminage. Les résultats montrent clairement que la traction dépasse de loin la valeur nominale spécialement aux premières 200 mètre de la bobine et qui permet à un serrage trop forcé des spires entre elles. Ce phénomène facilite probablement le collage des spires entre elles à la présence d'autres facteurs. Selon les lamineurs du tandem ce problème est inévitable vu le mode manuelle de laminage ainsi la vétusté des équipements (la régulation) .

Tout en espérant que mon travail soit finalisé par d'autres projets pouvant mieux caractériser ce défaut par l'analyse statistique de ce dernier en fonction de certains facteurs à concrétiser par un plan d'action pouvant tenir compte de tous les paramètres.

## Bibliographie

- [1] T. Benlahrech, Etude théorique et expérimentale sur l'évolution de la qualité d'un acier FePO4 - destiné pour l'emboutissage profond à Arcelor Mittal Annaba.; thème d'ingénieur, Université Annaba, 2008.
- [2] W. Chehaoui, formulation & identification de la loi de comportement du C11B au laminage à froid, thème d'ingénieur, Université Annaba, 1998.
- [3] «Laminage à froid des produits plats» Référence M7950 | Date de publication : 10 oct. 1994 | Jean-Claude CALMON, Jean CENAC site  
Web:<http://www.construiracier.fr/tout-sur-lacier/la-fabrication-de-lacier/lelaminage-a-froid/>
- [4] OPERATION D'USINAGE : LE LAMINAGE – LUBRIFICATION DE LAMINAGE.  
Par JC-GIROUD Publié le 10 avril 2016
- [5] <http://univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/Tribologie.pdf>
- [6] Henry Cléménçon. Abc du graissage. Technical report, Castrol (Switzerland) AG, 2009.
- [7] Joseph Farhi. "Coulée continue de l'acier: Données physiques et métallurgiques", Techniques de l'ingénieur, M7810 v1, 1989.
- [8] SIDER EL HADJAR (LAF)
- [9] <https://fr.wikipedia.org/wiki>