

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 1



Faculté de technologie
Département de génie mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de master

Option : Fabrication mécanique et productique

Thème :

***ETUDE ET OPTIMISATION DE PROCESSUS DE
FABRICATION DU ROND A BETON AU SEIN DONG
NAN MATERIAUX***

Réaliser par:

- **KERKOUT Mounir**
- **SAID ABDESSAMEUD Riadh**

Encadré par:

- **Mr. MERZOUG Djamel**

Année universitaire : 2023/2024

Résumé

ملخص

يقدم هذا العمل دراسة وعرض تصنيع الفولاذ الخرساني الدائري. تم تنفيذه بالتعاون مع شركة

Dong Nan Materiaux.

الهدف من مشروع نهاية الدراسة هذا هو اجراء دراسة لعملية تصنيع قضبان تسليح الخرسانة، وهي عنصر حاسم في البناء الحديث يتم تقسيم هذه الدراسة الى عدة مراحل رئيسية، تتراوح من المواد الأولية الى المنتج النهائي. وتشمل الخطوات الرئيسية فرز الخردة المعدنية، وصهرها في الافران، والصب المستمر لتشكيل سبائك الكربون، ودحرجتها بواسطة اسطوانات للحصول على قضبان خرسانية. نقوم بتحليل طرق الإنتاج المختلفة. اخيرا، نلقي نظرة على عملية الدرفة الساخنة و مجموعة القنوات الخاصة بها. بالإضافة الى ذلك، من خلال اقتراح حلول لتحسين كفاءة الطاقة. تقدم نتائج هذا البحث تحسينات مع توصيات عملية لتحسين عمليات التصنيع الخاصة بها.

Résumé

Ce travail présente une étude et une démonstration de la fabrication d'acier à béton circulaire. Il a été mis en œuvre en coopération avec l'entreprise Matériaux Dong Nan.

Le présent projet de fin d'études a pour objectif l'étude approfondie du processus de fabrication des ronds à béton, un élément crucial dans la construction moderne. Cette étude se décompose en plusieurs étapes clés, allant de l'extraction des matières premières à la livraison du produit fini. Les étapes principales incluent le tri des ferrailles, la fusion dans des fours, la coulée continue pour former des billettes, et le laminage des billettes par des cylindres pour obtenir des ronds à béton. Nous analysons les différentes méthodes de production, ainsi que les procédés de contrôle de qualité utilisés pour garantir la conformité aux normes en vigueur. En outre, en proposant des solutions pour améliorer l'efficacité énergétique. Enfin, nous nous intéresserons à l'opération de laminage à chaud et à sa gamme de cannelures.

Les résultats de cette recherche offrent des améliorations significatives pour les entreprises du secteur, avec des recommandations pratiques pour optimiser leurs processus de fabrication.

Summary

This work presents a study and demonstration of the fabrication of circular concrete steel. It was implemented in cooperation with the company Matériaux Dong Nan.

The aim of this end-of-study project is to study in depth the manufacturing process of concrete reinforcing bars, a crucial element in modern construction. This study is broken down into several key stages, ranging from the extraction of raw materials to the delivery of the finished product. The main steps include sorting of scrap metal, melting in furnaces, continuous casting to form billets, and rolling of the billets by cylinders to obtain concrete bars. We analyze the different production methods, as well as the quality control processes used to guarantee compliance with current standards. In addition, by proposing solutions to improve energy efficiency. Finally, we will look at the hot rolling operation and its range of flutes.

The results of this research offer significant improvements for companies in the sector, with practical recommendations to optimize their manufacturing processes.

Dédicace

Je m'incline devant Dieu le tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir et m'a aidé à la franchir.

Je dédie ce modeste travail : À ma chère maman, qui a autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour.

À mon père, pour tout l'effort et le soutien incessant qui m'a apporté.

A ma chère sœurs et mon chers frère.

À toute ma famille Qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès. À tous mes amis et à toutes les personnes ayant contribué à ce travail de près ou de loin

Kerkout Mounir

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU

De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail

. Je tiens à dédier cet humble travail à :

A ma tendre mère et mon très cher père

A ma précieuse sœur et frère. ;

Spécial dédicace a vous: monsieur. Mr MERZOUG

A mes meilleurs amis

:KARIM,RABAH,AYMEN,MOUSSAB,MOUNIR

. A Tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire et universitaire.

A Toute ma famille

Tout ceux qui m'aiment et que j'aime

SAID ABD ESSAMEUD RIADH

Remerciement

Avant tout, on remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous remercions tout d'abord nos chers parents et nos familles pour leur soutien indéfectible, leur amour et leurs encouragements constants. Leur présence et leur soutien ont été d'une valeur inestimable.

Notre gratitude va aux membres du jury qui ont accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous sommes redevables à notre promoteur Mr. Merzoug , notre promoteur, qui nous diriger et tant bien suivi de notre travail . Nous vous sommes extrêmement reconnaissants de nous avoir acceptés en tant qu'étudiants, d'avoir accepté de superviser notre travail et d'avoir continué à nous faire confiance dans le cadre de ce projet. .

Nos remerciements vont également au personnes au service formation au société Dong Nan Materiaux.

Nous tenons à réserver cette page pour exprimer notre gratitude et notre profonde reconnaissance envers toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et leur soutien, que ce soit de près ou de loin, tout au long de la réalisation de ce travail.

Que tous ceux qui ont contribué à notre réussite soient récompensés par les bienfaits d'Allah. Nous leur sommes éternellement reconnaissants et leur exprimons notre gratitude la plus sincère.

Liste des figures

Figure I-1: Élaboration et fabrication de demi-produits en acier.....	5
Figure I-2:Diagramme d'équilibre Fer-cémentite [4].	8
Figure I-3:La ferrite [5].....	9
FigureI-4 :L'austénite [5].....	9
FigureI-5: La cémentite [7].....	9
Figure I -I-6:La perlite [5].....	9
Figure I-7: Le processus d'élaboration de l'acier	16
Figure I -I-8: Fours à induction.....	17
Figure I-9: Machine de coulée	19
Figure I-10: coulée continue	19
Figure I-I-11: train de laminage	20
Figure I-I-12:Procédé du laminage	21
Figure I-13: Cage de laminoir [27]	22
Figure I-14: Cylindre de travail	22
Figure I-I-15:Différents type de cages	24
Figure I-16:Exemples de profils de cannelures [30]......	25
Figure II-1:Position géographique du société Dong Nan Matériaux.....	27
Figure II-2 :Organisme de l'entreprise	28
Figure II-3: aciers laminés à chaud–cycle de production	29
Figure II-4:aciers laminés à chaud – cycle de production.	30
Figure II-5:Déchets métalliques.....	31
Figure II-6:Gros morceaux	32
Figure II-7:Le cisaille par la soudure chalumeau	32
Figure II-8:Compacteur hydraulique	32
Figure II-9: Le Broyeur.....	33
Figure II-10:Four électrique par induction	34
Figure II-11:Un échantillon	35
Figure II-12:Sperctrometre	35
Figure II-13	35
Figure II-14:	37
Figure II-15:Dimension des billettes	38
Figure II-16:Le four de réchauffage	38
Figure II-17:train de laminage	39
Figure II-18	40
Figure II-19:cage.....	41
Figure II-20:Lacisaille 1	42
Figure II-21:La cisaille 2	42

Liste des figures

Figure II-22: Système de refroidissement accéléré.....	43
Figure II-23: Le cisaille 3.	43
Figure II-25: Cisaille à froid de 12 m.	44
Figure II-24: Système de refroidissement à l'air (COOLING BED).....	44
Figure II-26: Formation des fardeaux	45
Figure II-27: Zone de stockage	45
Figure II-28: Machine de traction et compression	47
Figure III-1: Gammes de cannelures.....	50
Figure III-2: Laminage des ronds	51
Figure III-3: Variation des dimensions de l'ovale en fonction du rond.	52
Figure III-4: (a) de la pinçure et (b) d'un rond maigre[36]	55
Figure III-5: Défaut de moustache.....	57
Figure III-6: Hors tolérance diamètre.	58
Figure III-7: Défaut de chutes.....	59
Figure III-8.....	60
Figure III-9: Défaut d'ondulation.	60
Figure III-10: Défaut de taches d'huile.....	61

Liste des tableaux

Tableau I-1: Les points de transformation	8
Tableau I-I-2: Compositions chimiques de l'acier à béton soudable selon les Normes [11].	12
Tableau I-3: Caractéristiques de traction.....	12
Tableau I -I-4 : Influence des éléments d'additions sur les caractéristiques mécaniques des aciers	15
-I-5 : Influence des éléments d'additions sur les caractéristiques mécaniques des aciers	15
Tableau IV-1: Dimension de déformation.....	65
Tableau IV-2: paramètres de calcul	68
Tableau IV-3	69
Tableau IV-4: résultat de puissance	71
Tableau IV-5.....	73
Tableau IV-6.....	74
Tableau IV-8: Dimension de déformation.....	75
Tableau IV-9: paramètres de calcul.....	78
Tableau IV-10: résultat de puissance – gamme2-	79
Tableau IV-11	81
Tableau IV-12.....	81

Table des matière

I. Chapitre I : Les procédés métallurgiques DE DEFORMATION DES METAUX.	3
I.1 Les procédés industriels d'élaboration des métaux et alliages.....	3
I.2 Les opérations de transformation :	4
I.3 La mise en forme.....	4
I.4 Alliages métalliques	6
I.5 Le diagramme d'équilibre fer-carbone.....	7
I.6 DIAGRAMME FER-CEMENTITE:	8
I.7 Constituants métallographiques d'équilibre.....	9
I.8 L'acier rond à béton :	10
I.9 Structure des aciers ronds à béton :	10
I.10 Propriétés du rond à béton :	11
I.11 Influence des éléments d'addition sur les caractéristiques mécaniques des aciers:	13
I.12 Processus d'élaboration de l'acier :	16
I.13 Four à induction :	17
I.14 Coulée de l'acier.....	18
I.15 Mise en forme de l'acier.....	20
I.16 Laminage.....	21
I.17 TYPES DE LAMINOIRS:	22
I.18 TYPES DE CAGES:	23
I.19 Laminoir planétaire :	24
I.20 DISPOSITION DES CAGES;	24
I.21 Cylindres de laminage:.....	25
II. CHAPITRE 02: Description de processus de fabrication de rond à béton au niveau de l'Usine	
II.1 Présentation de l'organisme d'accueil :	27
II.2 Processus de production :	28
II.3 Les étapes de recyclage du métal :	31
II.4 Rond à béton :	38
II.5 Caractéristiques mécaniques :	46
III. Chapitre 3: Analyse des cannelures dans le processus de laminage à chaud du rond à béton.....	49
III.1 TYPES DE CANNELURES :	49

III.2	Méthodes du guide :	51
III.3	DEFAUTS DES BARRES LORS DU LAMINAGE:.....	53
III.4	Avantage de laminage :	56
III.5	Type de défauts apparus lors la production de rond à béton à dong nan matériaux 57	
Chapitre IV : OPTIMISATION du processus de fabrication du rond à béton a l'Usine		
IV.1	La première gamme descannelures.....	63
IV.2	Optimisation de la chaine delaminage.....	74
	Références.....	88

INTRODUCTION GENERALE

Dans le secteur de la sidérurgie, l'optimisation des procédés de production est essentielle pour répondre aux exigences croissantes en matière de qualité, de productivité et de sécurité. La production de rond à béton, en particulier pour l'industrie de la construction, car ce matériau est largement utilisé pour renforcer le béton armé grâce à ses propriétés mécaniques et sa capacité à améliorer la résistance structurelle des bâtiments.

Le béton aujourd'hui est le matériau le plus répandu et presque irremplaçable dans le domaine du génie civil. Il n'existe pas de matériau qui pourrait prendre le relais pour constituer la très grande majorité des pieux, semelles de fondations, murs de soutènement, parois et ossatures de bâtiments, ponts et autres ouvrages.

À présent, le génie civil demande de l'acier pour béton armé avec des qualités de plus en plus élevées. La première est la nécessité de garantir la sécurité et la solidité nécessaire des bâtiments, dont le nombre d'étages augmente en permanence allant jusqu'aux gratte-ciel. La deuxième est le facteur économique qui joue aussi un rôle: plus l'armature est résistante, plus la consommation en aciers est faible.

Les ronds à béton produits par laminage à chaud doivent posséder des propriétés mécaniques spécifiques telles que la dureté, la ductilité et la résistance à la traction. Cependant, le processus de laminage peut entraîner des modifications de l'acier, impactant ses performances.

L'entreprise DONG NAN MATERIAUX, où j'ai effectué mon stage, est spécialisée dans la production de ronds à béton. Cette entreprise met en œuvre des procédés de fabrication avancés pour répondre aux exigences croissantes en termes de qualité et de performance des matériaux de construction. Cependant, comme toute entreprise industrielle, DONG NAN MATERIAUX fait face à plusieurs défis, notamment la minimisation des défauts de production et l'optimisation des processus pour garantir la conformité aux normes strictes de l'industrie.

L'objectif principal de ce travail est d'analyser et d'optimiser le processus de production de ronds à béton chez DONG NAN MATERIAUX. Cette analyse comprend une étude approfondie des différentes étapes du processus de fabrication, l'identification des défauts potentiels et la mise en œuvre de solutions pour améliorer la qualité du produit final. Plus spécifiquement, notre étude se répartit en quatre chapitres principaux :

Le premier chapitre est consacré à la présentation de généralités de production du rond à béton. Les questions de la métallurgie générale de production de l'acier, ainsi que les propriétés généralement demandées à ce matériau. Leurs compositions chimiques et les propriétés mécaniques souhaitées.

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons l'entreprise DONG NAN MATERIAUX, ses activités principales, son organisation et son infrastructure de production. Nous détaillerons également les différentes étapes du processus de fabrication des ronds à béton au sein de l'entreprise.

Le chapitre troisième est consacré à l'identification des défauts courants observés lors de la production des ronds à béton. Nous examinerons les causes possibles de ces défauts, telles que, les impuretés dans les matières premières ou les erreurs de processus.

Le quatrième chapitre consacré à la traite de l'optimisation des cannelures des ronds à béton, un aspect crucial pour garantir une adhérence optimale avec le béton. Nous proposerons des méthodes pour améliorer la conception des cannelures et pour optimiser l'ensemble du processus de production, en se basant sur les analyses précédentes et en intégrant les meilleures pratiques de l'industrie.

Chapitre I

**LES PROCEDES
METALLURGIQUES DE
DEFORMATION DES
METAUX**

INTRODUCTION

La métallurgie est l'art d'extraire les métaux de la terre et de les purifier. Elle est la science des matériaux qui étudie les métaux, leurs élaborations, leurs propriétés, et leurs traitements. C'est la manifestation préhistorique la plus avancée de la maîtrise des ressources naturelles. Elle remonte au quatrième millénaire pour la métallurgie extractive du cuivre et au premier millénaire avant notre ère pour la métallurgie extractive du fer. Autrement, elle consiste à transformer les minerais pour obtenir le ou les métaux recherchés. La métallurgie extractive constitue donc une industrie de base de transformation de la matière à côté de la chimie, de la cimenterie, etc.). La fabrication de « demi-produits métalliques » tels que, les barres, de fils de profilés divers, de tubes, de pièces de forge ou de fonderie relève de l'industrie sidérurgique (pour l'acier) et métallurgique (pour les autres métaux). [1]

I.1 Les procédés industriels d'élaboration des métaux et alliages

La fabrication de « demi-produits métalliques », c'est-à-dire de tôles, de plaques, débarres, de fils, de profilés divers, de tubes, de pièces de forge ou de fonderie, relève de l'industrie sidérurgique (pour l'acier) et métallurgique (pour les autres métaux). Cette fabrication comporte une succession d'opérations de transformation, d'extraction ou de séparation des constituants de minerais ou de produits intermédiaires (ces trois types d'opérations seront présentés plus loin.

Cette fabrication comporte une succession d'opérations de transformation, d'extraction ou de séparation des constituants de minerais ou de produits intermédiaires.

I.2 Les opérations de transformation :

I.2.1 La métallurgie « primaire »

La première transformation part du minerai pour aboutir au métal en général liquide, quelquefois sous forme d'éponge (solide poreux) ou de poudre, qui constitueront la base des aciers et alliages. Cette étape comporte des opérations d'extraction ou de séparation des constituants du minerai plus ou moins importantes et nombreuses selon que l'on part de minerais riches (Fe ; Al ; Ti) ou pauvres (Cu ; Zn ; Ni) .

I.2.2 La métallurgie « secondaire »:

Consiste en traitement du métal liquide, obtenu soit directement dans la première étape, soit par refusions de métaux recyclés avant coulée. Elle comporte plusieurs opérations successives ou combinées : l'affinage (purification), c'est-à-dire l'élimination des éléments nocifs restant dans le métal liquide, la mise à la nuance (addition des éléments constitutifs de l'alliage), la coulée, et la solidification (soit sous forme de lingots, soit directement sous forme de produits solides plats ou longs par coulée continue, soit sous forme de pièces de fonderie, soit même sous forme de poudre).

I.3 La mise en forme

Constituée par des transformations thermomécaniques, donnant à la fois la forme, la structure métallurgique et donc une partie de leurs propriétés finales aux demi-produits. Finalement, ces demi-produits pourront subir ensuite de nouvelles transformations de mise en forme, de traitements thermiques ou de traitements de surface, par les industries fabriquant des biens intermédiaires (l'industrie mécanique par exemple) ou des produits finis. La métallurgie primaire et la métallurgie secondaire mettent en œuvre des opérations de transformation, par réaction chimique, des constituants du minerai ou de solutions liquides ou de phases gazeuses intermédiaires, en des composés plus ou moins facilement séparables les uns des autres, soit par des opérations d'extraction, soit par des opérations de séparation. On classe ces opérations en deux familles :

- **La pyrométallurgie** : opérations effectuées à haute température (de 500°C à plus de 1500°C).

- **L'hydrométallurgie** : opérations effectuées en milieu aqueux et à des températures relativement basses (25°C à 300°C) .[1]

Chapitre I : LES PROCÉDES METALLURGIQUES DE DEFORMATION DES METAUX

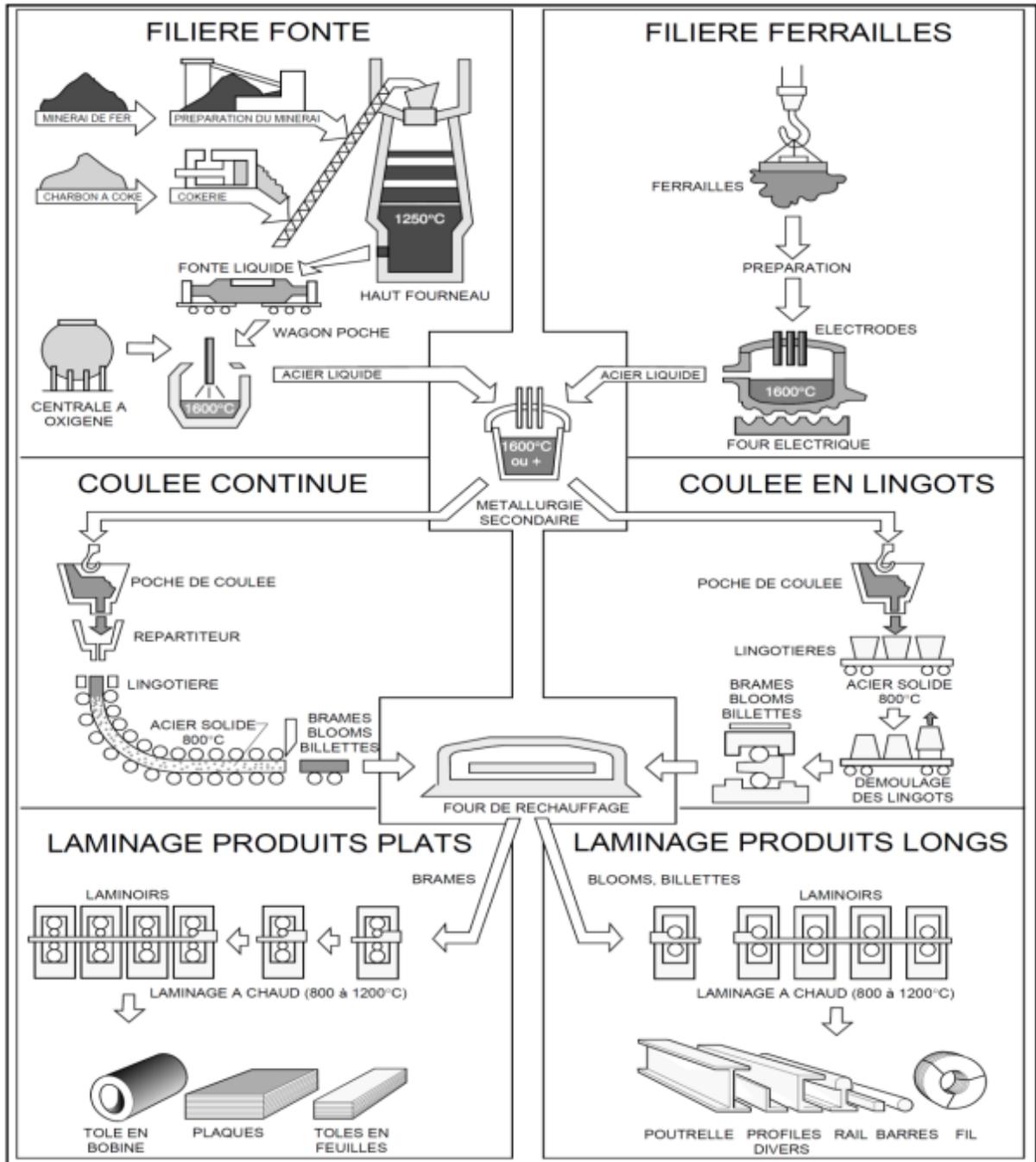


Figure I-1: Élaboration et fabrication de demi-produits en acier

Filières-Étapes-Opérations primaire et secondaire. [1]

I.4 Alliages métalliques

La plupart des métaux purs en raison de leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques sont difficilement utilisables dans l'industrie moderne parce qu'ils n'assurent pas les propriétés physicochimiques. Donc leurs emplois sont très rares et on les utilise surtout sous forme d'alliages. Par définition, un alliage est un mélange homogène, c'est-à-dire la combinaison d'un métal avec une ou plusieurs autres substances dans le but d'obtenir des propriétés mécaniques précises. L'addition volontaire à un métal pur un ou plusieurs éléments peut modifier profondément les propriétés des métaux. Le mélange obtenu se nomme alliage métallique.

I.4.1 Les alliages ferreux :

Les alliages ferreux sont des alliages dont le principal constituant est le fer. Pour déterminer rapidement si un alliage est ferreux ou non, il suffit d'approcher un aimant de l'alliage en question. Si l'alliage est ferreux, il attirera l'aimant alors qu'il n'y aura pas d'attraction s'il s'agit d'un alliage non ferreux. Par exemple :

- **La fonte** : est un alliage de fer et de carbone, tels que sa teneur en carbone est comprises entre 2 et 6.69%. sa grande coulabilité permet d'obtenir des pièces de fonderie aux formes complexes. A cause du pourcentage élevé de carbone qu'elle contient, elle est en général assez fragile, peu ductile et difficilement soudables.
- **L'Acier** : est un matériau contenant en masse plus de fer que tout autre élément et dont la teneur en carbone est inférieure à 1,7%, limite courante qui distingue les fontes. La normalisation (NF EN 10020) retient trois familles principales d'aciers : les aciers non alliés (aucun élément d'alliage ne dépasse 0,6% ; sauf 1,65% pour Mn (Manganèse)),

I.4.2 Les alliages non ferreux :

Un alliage non ferreux ne contient pas de fer, mais combine plutôt d'autres métaux. Ces alliages ne seront pas attirés pas aimant. Par exemple :

- **Le laiton** : est un alliage de zinc et de cuivre.
- **Le bronze** : est un alliage de cuivre et d'étain qui est utilisé, par exemple, pour la réalisation d'objets d'art ; l'alliage plomb-étain, parfois aussi appelé « métal blanc », à faible point de fusion, utilisé pour la soudure.

I.5 Le diagramme d'équilibre fer-carbone

C'est un diagramme qui représente la composition des phases et la structure de l'alliage Fer-Carbone en fonction de la température d'élaboration et à la pression atmosphérique. Selon la forme du Carbone dans l'alliage, il existe deux différents types de ce diagramme :

- Le diagramme d'équilibre stable ou diagramme d'équilibre Fer-graphite.
- Le diagramme d'équilibre métastable ou diagramme d'équilibre Fer-cémentite.

I.5.1 Diagramme d'équilibre stable :

La formation d'une phase stable de graphite dans la fonte obtenue par deux procédés, le premier est la précipitation et le deuxième c'est la décomposition de la cémentite formée déjà [3] .

I.5.2 Diagramme d'équilibre métastable :

C'est le diagramme d'équilibre Fer-Cémentite. Il représente la composition des phases et la structure des alliages dont la concentration variée du fer pur à la cémentite. Cette dernière correspond à 6.67% de Carbone [4].

I.6 DIAGRAMME FER-CEMENTITE:

Ce diagramme est très important pour les opérations de production, formage, soudage, et traitement thermique des aciers et des fontes. Avant de l'utiliser, il est nécessaire de comprendre les différentes régions et les limites d'utilisation de ces domaines dans l'industrie sidérurgique.

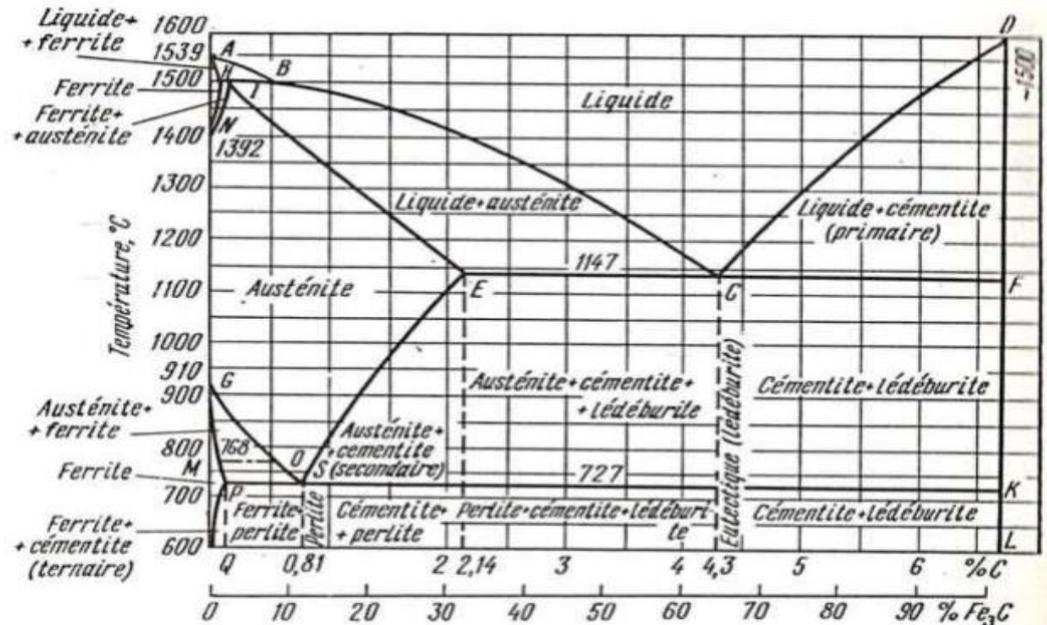


Figure I-2: Diagramme d'équilibre Fer-cémentite [4].

Les points de transformation : Le diagramme d'équilibre est constitué de plusieurs points et ligne dits de transformation. Certains points caractéristiques de diagramme d'équilibre Fer-Carbone sont présentés dans le tableau suivant [4]:

Tableau I-1: Les points de transformation

<u>Point</u>	<u>T°C</u>	<u>% Carbone</u>	<u>Caractéristiques</u>
A	1539	0	T de fusion du Fer pur.
C	1147	4,30	Point de transformation eutectique L → γ + cémentite.
D	1500	6,67	T de fusion de la cémentite.
E	1147	2,14	Teneur limite de solubilité du C dans l'austénite
G	910	0	Transformation polymorphe α ↔ γ.
H	1499	0,10	Teneur limite de solubilité du C dans la ferrite.
N	1392	0	Transformation polymorphe α ↔ γ.
P	727	0,02	Teneur limite de solubilité du C dans l'austénite.
S	727	0,8	Point de transformation eutectoïde γ → α + p.

I.7 Constituants métallographiques d'équilibre

I.7.1 La ferrite: solution solide d'insertion du carbone et d'autres inclusions dans le fer α (cubique centre). On distingue la ferrite α a basse température et a solubilité du carbone allant jusqu'a 0,02% et la ferrite δ à haute température et à solubilité limite en carbone allant jusqu'a 0,1% .

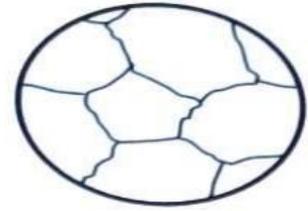


Figure I-3:La ferrite [5]

I.7.2 L'austénite: est une solution solide du carbone dans fer gamma (cubique a faces centres) et d'autres. L'austénite est stable a haute température, elle peut exister a la température ambiante que dans un état métastable.



Figurel-4 :L'austénite [5]

I.7.3 La cémentite: dite aussi carbure du fer (Fe_3C), est une combinaison chimique du fer et du carbone dont la teneur en carbone peut atteindre 6,67 %, c'est une phase métastable. La température de fusion de la cémentite n'est pas connue exactement du fait qu'elle peut se décomposer et on adopte que sa fusion a lieu a peu près a 1550°C.[6]



Figurel-5: La cémentite [7]

I.7.4 La perlite : elle représente un mélange eutectoïde d'environ 88% de ferrite et 12% de cémentite sous forme de fines lamelles alternées [5] .



Figure I -I-6:La perlite [5]

I.8 L'acier rond à béton :

C'est un type des aciers qui est destiné à la construction. Il a une composition chimique (teneur des éléments chimiques) bien déterminée. Il se combine avec de béton pour lui améliorer la résistance à la traction. L'ensemble acier et béton nous donne ce qu'on appelle béton armé.

Les aciers et les fontes, bien que très connus, il peut être intéressant de rappeler comment ils sont élaborés...pour comprendre certains phénomènes.

I.9 Structure des aciers ronds à béton :

Selon la composition chimique (teneur en carbone surtout) et les conditions de chauffage et de refroidissement les aciers de construction présentent, dans les conditions de mise en œuvre, deux structures métallographiques distinctes [18]:

Les aciers de construction les plus simples sont les aciers dont les seuls éléments d'alliage sont le carbone et le manganèse et dont la microstructure est voisine de la structure d'équilibre, c'est-à-dire ferrito-perlitique. La teneur en carbone est limitée à 0,2 % environ pour éviter de dégrader la résilience et obtenir une bonne soudabilité.

I.9.1 • Structure ferrito-perlitique :

La très grande majorité des aciers d'usage général est livrée et employée à l'état ferrito-perlitique. Ils sont constitués de grains de ferrite juxtaposés avec des pseudo-grains de perliteagrégat constitué lui-même de particules de ferrite et de particules de carbure de fer Fe_3C [19] .

I.9.2 • Structure perlito-ferritique :

Contrairement à la précédente, la structure perlito-ferritique contient plus de perlite que de ferrite, elle est la conséquence d'une teneur relativement élevée du carbone et une vitesse de refroidissement plus élevée. Les aciers ferrito-perlitique présentent un bon compromis entre la caractéristique de ductilité et de dureté.

I.10 Propriétés du rond à béton :

Le rond à béton en acier peut être plié après avoir été fabriqué. Cela simplifie la construction et permet une livraison rapide des matériaux fabriqués. Il est robuste et capable de résister aux rigueurs de la construction. Il peut être facilement recyclé à la fin de la durée de vie de la structure. Il n'a pas besoin d'être directement attaché au coffrage et ne flotte pas dans le béton [8].

I.10.1 Propriétés physiques :

Les armatures ne glissent pas à l'intérieur du béton. C'est le phénomène d'adhérence qui empêche ou limite ces glissements. Cette propriété physique permet la transmission des efforts et un fonctionnement rationnel. L'adhérence est améliorée lorsque la barre possède des nervures en saillies ou lorsque sa surface est rugueuse [9].

Une des propriétés principales de l'armature à béton est la soudabilité. On peut définir la soudabilité comme une propriété géométrique : « La soudabilité d'un métal ou d'un alliage est l'aptitude de ce métal ou de cet alliage à être assemblé par fusion ou par tout autre procédé assurant la continuité de la matière » [10].

Le rond à béton en acier peut être assemblé à l'aide de soudures ou de coupleurs ayant des résistances similaires à celles de l'acier d'armature.

I.10.2 Compositions chimiques :

Les aciers utilisés pour la production de l'armature de nuance 400MPa d'après toutes les normes sont de qualité ordinaire, bas carbone, peu chargés en éléments d'alliage et donc soudables. En analysant les données présentées dans le tableau I-2, on peut constater, que les normes de différents états sont bien harmonisées selon la composition chimique et la valeur de carbone équivalent. Toutefois, la valeur de carbone équivalent qui dépasse 0,50 (B400DWR selon ISO 6935-2) indique l'utilisation élevée de différents éléments d'alliage tels que Cr, V, Mo etc.. En outre, l'utilisation de ces éléments renchérit le produit fini. Le fait que les aciers utilisés sont à bas carbone atteste la nécessité d'utiliser les traitements de durcissement pour obtenir la qualité de 400MPa [10].

Tableau I-I-2:Compositions chimiques de l'acier à béton soudable selon les Normes [11].

NORME	COMPOSITION CHIMIQUE, %MASSE MAX									
	C	Si	Mn	S	P	N	Cu	As	Céq	Céq, équation
ДСТУ ENV 10080	0,24	---	---	0,055	0,055	0,013	---	---	0,52	$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+V+Mo)}{5} + \frac{(Cu+Ni)}{15}$
ДСТУ 3760 :2006	0,25	---	---	0,045	0,045	0,012	---	0,08	0,3-0,52	
ГОСТ Р 52544-2006	0,24	0,95	1,7	0,055	0,055	0,13	0,55	---	0,52	
NF A35-016(019)-1(2)	0,24	---	---	0,055	0,055	0,014	0,85	---	0,52	
BS4449: 2005	0,24	---	---	0,055	0,055	0,014	0,85	---	0,52	
DIN488-1: 1984		---	---	0,055	0,055	0,013	---	---	---	
EN10080 :2005	0,24	---	---	0,055	0,055	0,014	0,85	---	0,52	
ISO6935-2 :2007 a)	1	0,22	0,6	1,6	0,05	0,05	0,012		50	
	2	0,32	0,55	1,5	0,04	0,04	0,012		0,61	
a)1:B400AWR, B400BWR, B400CWR; 2: B400DWR										

I.10.3 Propriétés mécaniques :

La caractéristique principale de l'armature est sa limite d'élasticité Re. On peut la calculer comme le rapport entre la force à la limite d'élasticité de l'armature et sa section nominale. De plus, les normes déterminent la valeur de la résistance à la rupture Rm ou bien le rapport Rm/Re. Ce rapport caractérise la sécurité du rond à béton dans la construction. Ce dernier doit être conforme aux prescriptions pour les caractéristiques de traction spécifiées dans le Tableau [16].

Tableau I-3:Caractéristiques de traction.

Valeurs minimales	Caractéristiques mécaniques		
	Re min N/mm ²	Rm min N/mm ²	Amin %
FeE400	400	440	14

I.11 Influence des éléments d'addition sur les caractéristiques mécaniques des aciers:

I.11.1 Le carbone :

Dans les aciers inoxydables, la teneur en carbone est limitée à un maximum de 1,2 % en masse afin d'éviter la formation de carbures [18](notamment de carbures de chrome qui est un composé chimique très stable avide de chrome) qui sont préjudiciables au matériau. Par exemple, le carbure $Cr_{23}C_6$ qui peut apparaître dans l'austénite a un effet négatif vis-à-vis de la corrosion inter granulaire (appauvrissement très important en chrome aux abords des carbures formés provoquant la perte du caractère inoxydable par captation du chrome).

I.11.2 Le nickel

Le Nickel favorise la formation de structures homogènes de type austénitique. Il apporte les propriétés de ductilité, de malléabilité et de résilience. A éviter soigneusement dans le domaine du frottement.

I.11.3 Le manganèse

Il est un substitut du nickel. Certaines séries d'alliages austénitiques ont été développées permettant de faire face aux incertitudes d'approvisionnement du nickel [19].

I.11.4 Le molybdène et le cuivre

Ces deux éléments qui améliorent la tenue dans la plupart des milieux corrosifs, en particulier ceux qui sont acides, mais aussi dans les solutions phosphoriques, soufrées, etc. Le molybdène accroîtra la stabilité des films de passivation.

I.11.5 Le tungstène

Améliore la tenue aux températures élevées des aciers inoxydables austénitiques.

I.11.6 Le titane

Il doit être utilisé à une teneur qui dépasse le quadruple de la teneur en carbone. Il évite l'altération des structures métallurgiques lors du travail à chaud, en particulier lors des travaux de soudure où il prend la place du chrome pour former un carbure de titane (TiC) avant que ne se déforme le carbure de chrome préservant de ce fait le caractère inoxydable de l'acier en évitant l'appauvrissement en chrome de la matrice aux bords des zones carburées.

I.11.7 Le niobium

Le point de fusion du niobium est beaucoup plus élevé que le titane et présente des propriétés semblables. Il est utilisé dans les métaux d'apport pour le soudage à l'arc électrique en lieu et place du titane qui serait volatilisé pendant le transfert dans l'arc électrique.

I.11.8 Le silicium

Cet élément cristallogène joue également un rôle dans la résistance à l'oxydation, notamment vis-à-vis des acides fortement oxydants (acide nitrique concentré ou acide sulfurique concentré chaud).

I.11.9 Aluminium :

L'aluminium a été, jusqu'à présent, peu ajouté dans les aciers à outils en raison de son rôle néfaste sur les propriétés de mise en œuvre telles que la transformation à chaud, l'usinabilité et l'aptitude à la rectification, ainsi que sur les caractéristiques de ténacité et de trempabilité. Toutefois, les progrès réalisés dans les modes d'élaboration permettent d'envisager des additions importantes (supérieures ou égales à 1 %) dans certains aciers à haute teneur en carbone.

I.11.10 Le chrome :

C'est l'élément qui donne aux aciers inoxydables leur résistance à la corrosion. Conformément à la norme européenne EN 10088-1, un acier est classé acier inoxydable s'il contient au minimum 10,5 % en masse de chrome et moins de 1,2 % de carbone.

Tableau I -I-4 : Influence des éléments d'additions sur les caractéristiques mécaniques des aciers

Propriétés	Eléments d'addition											
	Carbone	Si	Mn	Ni	Cr	W	Va	Mo	Co	Ti	Pb	S
Résistance à la traction	++	+	++	+	++	+	+	++	+	+	+	
Dureté	++	+	++	+	++	+	+	++			+	
Malléabilité	-		+	++	+	+	+	+		+	-	-
Résilience	-		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Magnétisme		-		-	+	++			++			
Résistance au feu	-	-	-	+	++	+		+		+		
Elasticité	+	++	+		+		+	+				
Forgeabilité			+	+			+	+		+		-
Soudabilité	-	-	+				+	+				-
Usinabilité	-	-	-		-			+			+	+
Qualité de coupe	+	-			+	++	++	+	++	+	-	-
Commentaires:		+Augmentation - Diminution			++Augmentation importante							

I.12 Processus d'élaboration de l'acier :

PROCESSUS DE RECYCLAGE DES METAUX & FERRAILLES :

Le ferrailleur achète, collecte les différents métaux, réalise des tris, mais aussi du compactage et du conditionnement afin de pouvoir vendre et livrer les produits qui seront ensuite traités, refondus et transformés en barres de métal.

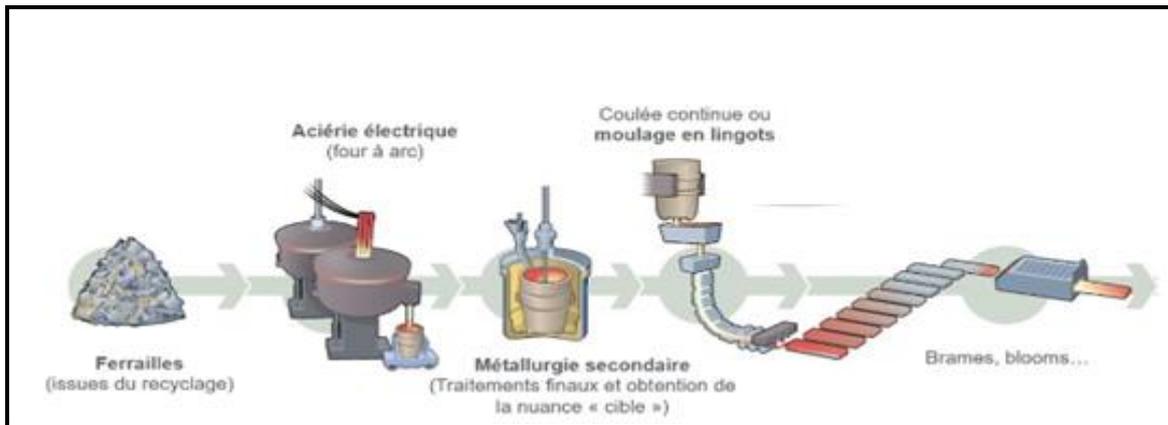


Figure I-7: Le processus d'élaboration de l'acier

La filière de la refusions des ferrailles utilise un four à sole réfractaire sur laquelle sont placées les matières à refondre. L'énergie thermique est fournie par production d'arcs électriques entre trois électrodes et la charge. Naguère réservé à l'élaboration d'aciers spéciaux, le procédé électrique assure actuellement une part importante du tonnage des aciers courants. Le procédé électrique basique est le plus répandu, il est caractérisé par :

- **Une haute température du bain(--> 1800°C) facilement réglable, ce qui facilite la fusion des laitiers très réfractaires et la réduction des oxydes.**
- **La non-intervention de l'atmosphère du four qui est neutre.**

I.13 Four à induction :

Ce type de four utilise le principe de l'induction électromagnétique. Selon ce principe physique, un champ magnétique produit dans le métal un courant électrique induit. Le métal se comporte alors telle une résistance et chauffe proportionnellement à la puissance du champ.

Les fours à induction utilisent des **bobines** dans lesquelles passe un courant électrique pour générer un champ magnétique intense. Il est orienté et concentré sur les charges métalliques, présentes dans le **creuset réfractaire**.

La **bobine inductrice** placée autour du creuset est refroidie à l'eau afin d'éviter toute surchauffe et dégradation de cette dernière. Des **écrans magnétiques** sont disposés tout autour pour refermer le champ sur la zone de fusion.

Un effet intéressant pour la métallurgie est le brassage dû aux courants induits. Il permet d'homogénéiser le bain ce qui rend très intéressant ce type de moyen de fusion pour l'élaboration d'alliages complexes.

Il existe une variante du four à induction plutôt réservée au maintien du métal en fusion dans un four à canal. Ce dernier est destiné au stockage du métal liquide, souvent directement sur le chantier de moulage. La température est maintenue par le passage du métal dans un canal où l'on applique un courant induit. Cela produit un courant dans le bain qui homogénéise l'ensemble.

Les fours à induction sont utilisés pour la fusion et le maintien de tous les types d'alliages : acier, fonte, non ferreux.



Figure I -I-8: Fours à induction

I.14 Coulée de l'acier

Quelle que soit la nuance de l'acier élaboré, l'élaboration de coulée est pratiquement toujours exécuter en deux étapes.

Dans le premier temps, le métal provenant du four dans lesquels il a été élaboré est versé une poche de coulée.

Dans une deuxième opération, ce métal est coulé dans une lingotière de coulée continue ou dans des lingotières ordinaires pour solidifier sous forme de lingots.

La poche de coulée a un volume suffisant pour recevoir sur garnissage neuf.

Dans la poche de coulée le métal s'homogénéise, reçoit le plus souvent des additions et se sépare du laitier.[21]

I.14.1 Coulée continue

Le rond à béton est laminé à partir des billettes produites en coulée continue.

Le principe de cette technique est de couler l'acier liquide dans une lingotière en cuivre de section carrée. Le métal commence à former une peau solide du côté des parois de la lingotière, violemment refroidie à l'eau. Le métal à la sortie de la lingotière est tiré vers le bas par un jeu de rouleaux, il s'achève par se solidifier. A la base de l'installation, on extrait une barre solide, carrée qui est découpée en tronçon pour une longueur souhaitée [22].

Normalement il y a deux types de machines sont utilisés, comme le montre la figure 10, machines verticales et machines courbes avec cintrage à l'état solide ou partiellement solidifié.

Coulée en continue : Elle consiste à verser de façon régulière et interrompue, l'acier liquide dans un récipient sans fond énergiquement refroidi appelé lingotière, une barre dont le cœur encore liquide achève de se solidifier sous l'action d'un refroidissement secondaire.

Le produit obtenu a ainsi sensiblement la même section que la lingotière dont la forme le fond.

La coulée est dite verticale si l'axe du produit coulé est orienté verticalement.

Les différents éléments dont se compose une machine de coulée continue sont :

- Un récipient contenant le métal à couler (poche de coulée)(A).
- Un petit récipient rectangulaire du débit : le panier (B) .
- Une lingotière refroidie énergiquement par une intense circulation d'eau (C).
- Une zone de refroidissement secondaire (à l'air ou par arrosage direct à l'eau pulvérisé) (D).
- Un mécanisme extracteur à rouleaux réglant la vitesse de descente du produit coulé.
- Un système de tronçonnage (cisaille ou chalumeau oxycoupeur) éventuellement précédé d'un dispositif de cintrage permettant de ramener la barre à l'horizontal.

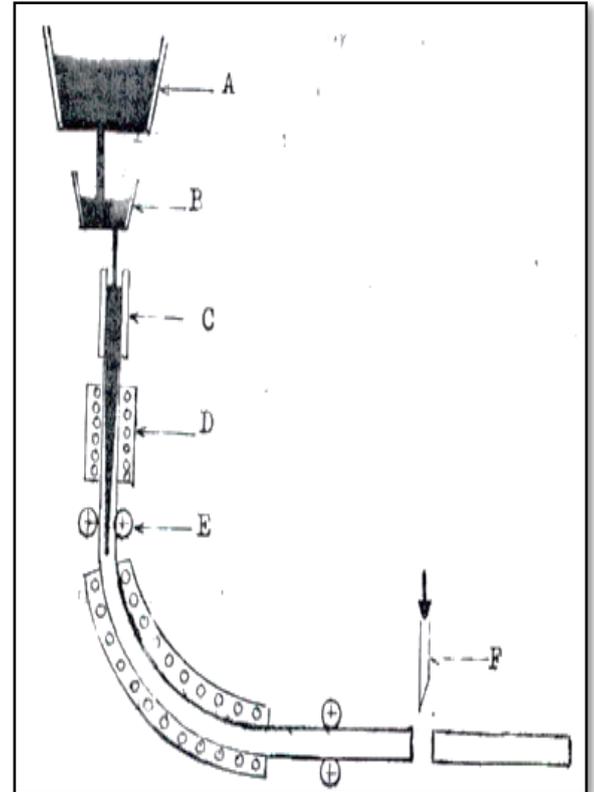


Figure I-9: Machine de coulée

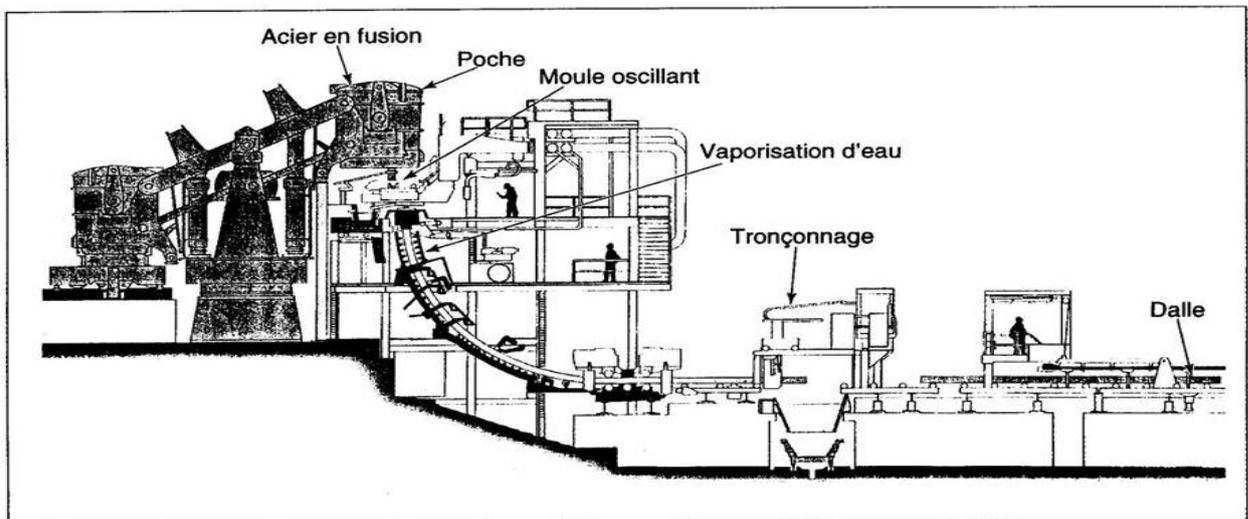


Figure I-10: coulée continue

I.15 Mise en forme de l'acier

La mise en forme de l'acier se fait par laminage qui consiste en une série d'opérations transformant les blooms obtenus par coulée en produits longs, de formes et de dimensions déterminées. Un laminoir est composé de plusieurs cages comprenant des cylindres entre lesquels passe le métal qui y subit un écrasement progressif. Les cylindres tournent en sens inverses et sont groupés par paires. Ils sont normalement cannelés pour les produits sous formes des barres.

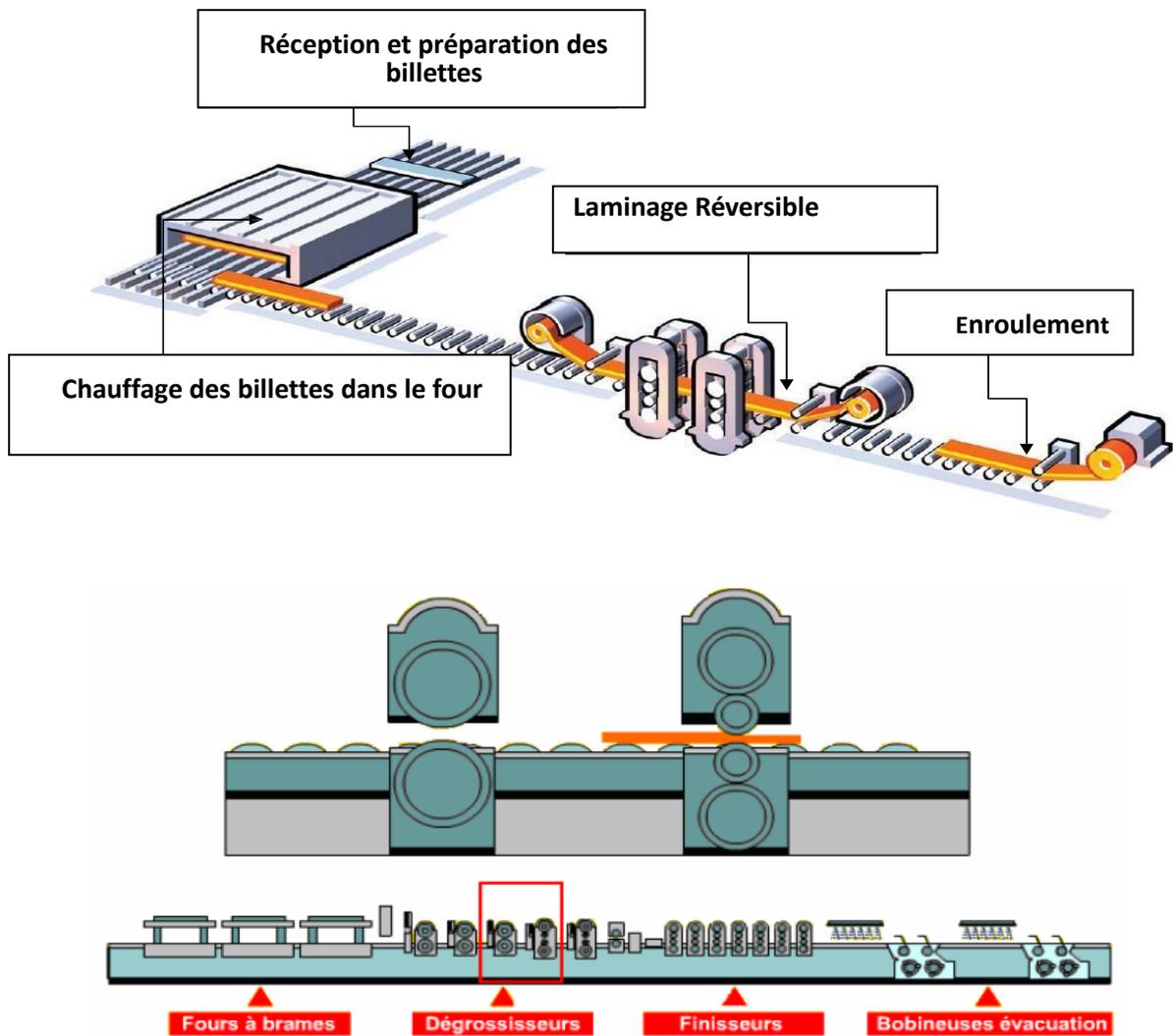


Figure I-I-11: train de laminage

I.16 Laminage

Le laminage est une opération de mise en forme par déformation plastique, destinée à Réduire la section d'un produit de grande longueur, le métal est engagé entre deux cylindres tournant en sens inverse. Pour faciliter la déformation, l'opération se fait à chaud, D'un point de vue métallurgique, c'est obtenir des caractéristiques mécaniques ou métallurgiques supérieures, l'opération précédente, qui peut être la coulée, ne donnant pas une satisfaction sur ce point. Dans le cas du laminage à chaud, Avant le laminage les blooms doivent être réchauffés dans un four de réchauffage. Le laminage s'effectue à l'état austénitique particulièrement malléable. Le dégrossissage a lieu entre 1100 °C et 1200 °C et la finition peut se faire à des températures descendant jusqu'à 800 °C.. Les soufflures sont écrasées, allongées et même souvent ressoudées. Le laminoir produit le rond à béton de différent diamètre 8 mm, 10 mm, 11 mm ,12 mm et 14 mm[25].

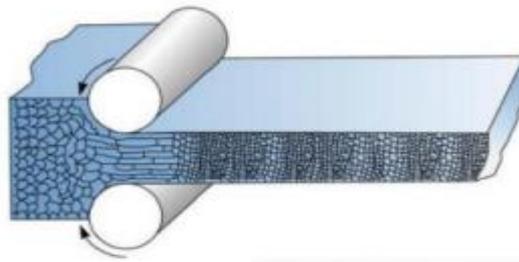


Figure I-I-12: Procédé du laminage

I.16.1 Portrait d'un laminoir

Les ensembles principaux d'un laminoir sont :

- Plusieurs cages de laminoirs.
- Le moteur.
- La cage à pignons.
- Les pièces d'accouplement reliant les ensembles.

Cage de laminoirs : C'est un bâti en fonte ou en acier coulé comportant quatre montants disposés de façon à recevoir les cylindres de travail dans un même plan vertical. Les cylindres sont reliés à la cage par des pièces appelées empoignes recevant elles-mêmes les coussinets. Ces derniers assurent le glissement des tourillons des cylindres au cours de leur rotation. Ils sont parfois remplacés par des roulements [26].

Cylindre de travail : C'est l'élément de base du laminoir. Il assure la réduction du métal et lui donne la forme souhaitée. Il est exécuté en fonte ou en acier. Il comprend les éléments suivants : la table (1) qui est en contact direct avec le métal, celle-ci est lisse pour le laminage des plats, et dotée de cannelures pour le laminage des profils. Les tourillons (2) qui se trouvent des deux côtés de la table et qui reposent sur les coussinets. Les trèfles (3) qui rattachent le cylindre à l'arbre [26].

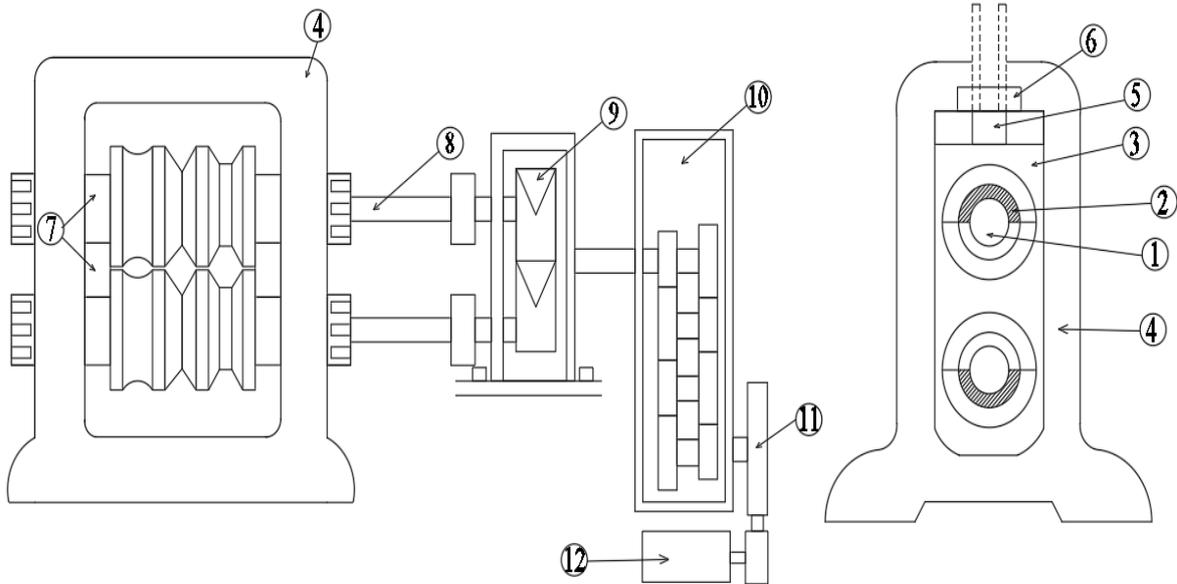


Figure I-13: Cage de laminoir [27]

1-Tourillon	2-Palier	3-Epoise	4-Montant de cage	5-Vis de serrage	6-Ecrou
7-Cylindre de travail	8-Allonge	9-Cage a pignon	10-Réducteur	11-Transmission par courroie	12-Moteur électrique

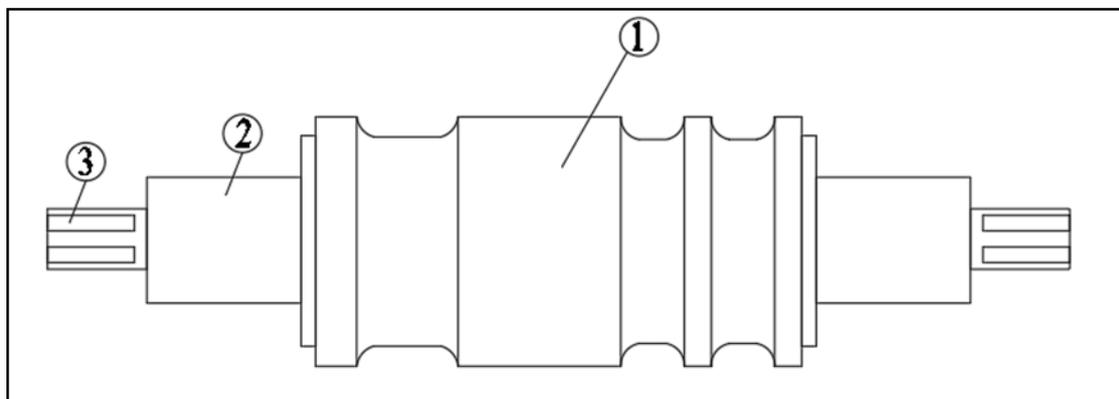


Figure I-14: Cylindre de travail

I.17.1 TYPES DES LAMINOIRS : Il existe deux grandes classes de laminoirs:

Laminoirs primaires ou à demi-produits

Laminoirs finisseurs.

➤ **Laminoirs primaires**

Ils ont pour but de réduire la section du lingot et d'allonger ce dernier. On en distingue plusieurs types:

Blooming : c'est un duo réversible à levée variable de diamètre allant de 700 à 1350 mm, destinés à produire des blooms de section carrée 120*120mm.

Train à billettes : Il transforme les blooms en billettes.

Train à larges : Il transforme les blooms en larges.

➤ **Laminoirs finisseurs :**

Parmi eux, ceux dont la table est lisse sont destinés au laminage des tiges, tandis que ceux dont la table comporte des cannelures sont destinés au laminage des barres rondes, cadres, hexagonales, des profils divers ; en L,U;...

I.18 TYPES DE CAGES:

La classification qui suit est faite selon le nombre et la disposition des cylindres.

- **Duo** : Ce sont des cages à deux cylindres à axes horizontaux. On en distingue :
- **Duo ordinaire** : Le sens de rotation des cylindres est constant.
- **Duo réversible** : Les cylindres tournent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.
- **Trio** : Cage à trois cylindres horizontaux placés dans un même plan vertical.
- **Double duo** : Elle comprend deux duos superposés dans une même cage mais dans deux plans différents et parallèles.
- **Duos alternés** : Cage contenant deux cylindres et un troisième qui constitue l'arbre de transmission.
- **Quarto**: Il comprend dans le même plan deux cylindres de travail de faible diamètre s'appuyant sur deux autres de diamètre supérieur. Il est destiné uniquement au laminage des tôles.

I.19 Laminoir planétaire :

Il comporte une série de petits cylindres de travail disposés autour des cylindres d'appui montés n duo et destinés également des tôles [28].

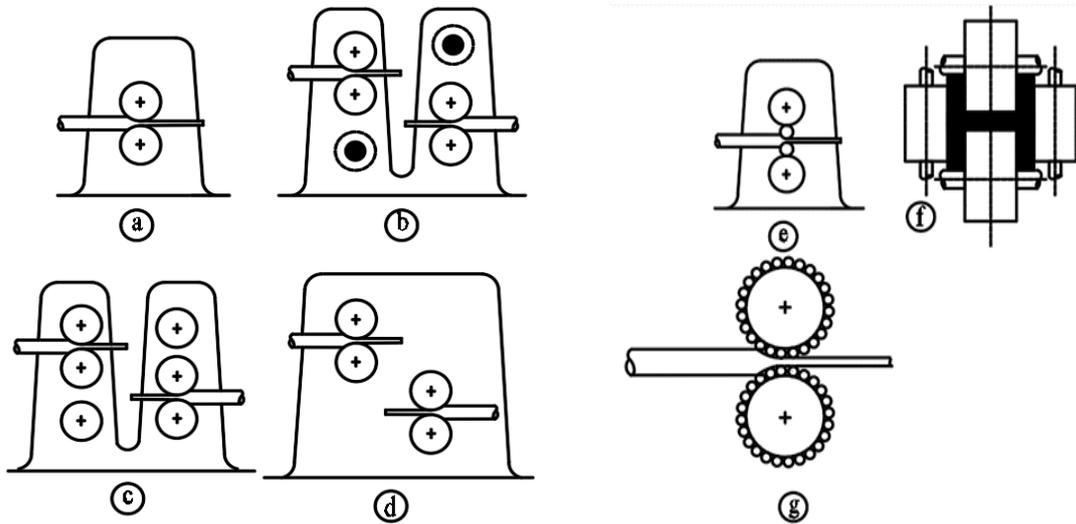


Figure I-15: Différents type de cages .

- | | | |
|----------------|---------------------|------------------------|
| a) Duo | d) Double duo | g) Laminoir planétaire |
| b) Duo alterné | e) Quarto | |
| c) Trio | f) Cage universelle | |

I.20 DISPOSITION DES CAGES;

Tous les laminoirs se composent d'une ou de plusieurs cages citées ci-dessus. S'ils contiennent plusieurs cages, on les désigne suivant la disposition de ces dernières par train ouvert, train continu [28].

➤ Train ouvert :

C'est un ensemble de cages en ligne sur un même axe ou sur deux axes parallèles très voisins. Un cas particulier est le train zigzag.

➤ Train continu :

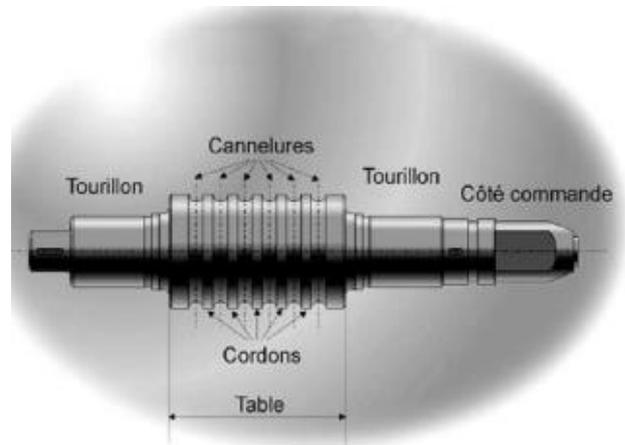
Il a toutes ses cages disposées l'une derrière l'autre. Si le produit est en prise dans toutes les cages à la fois, c'est alors un pur continu. Si le produit est en prise successivement dans chaque cage, c'est alors un semi-continu.

I.21 Cylindres de laminage:

Les cylindres de laminage sont les outils essentiels de ce procédé de mise en forme, ils sont soumis à de fortes sollicitations cycliques tant mécaniques que thermiques. L'optimisation de leur durée de vie est donc particulièrement cruciale car leur détérioration influe de manière pénalisante sur la qualité de surface des produits ainsi que sur les arrêtes des installations industrielles, dans un souci multiple d'augmenter la durabilité des outils, la qualité des produits et de réduire le coût, il est nécessaire de contribuer à la maîtrise de ces dégradations et en particulier à celle de l'usure [29].



Figure I-16: Cylindres de laminage [29].



Pour le laminage de produits profilés (barres, ronds, cornières, rails, poutrelles, etc.) le nombre et le profil des cannelures ouvertes ou fermées est en rapport avec les déformations recherchées et le nombre de passes successives. Les profils sont très variés suivant les passes de dégrossissage ou de finition (cannelures ogivales, losange-carré, rectangle-carré, ovale-rond, etc.)[30].

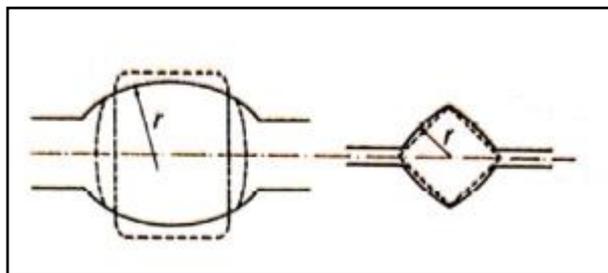


Figure I-16:Exemples de profils de cannelures [30].

CONCLUSION

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les principaux paramètres technologiques des procédés et techniques pour comprendre les processus métallurgiques.

Ensuite, Nous avons exploré les différentes étapes de la production métallique, des opérations de transformation aux alliages métalliques, La description du processus de fabrication de production de rond à béton, Les processus de coulée et de façonnage ont été examinés, fournissant une compréhension détaillée de ces étapes cruciales dans la production de barres d'acier.

En conclusion, le premier chapitre de notre Projet de Fin d'Etudes a établi les fondations nécessaires pour comprendre les processus métallurgiques. Nous avons mis l'accent sur la production et les propriétés des barres d'acier utilisées dans la construction.

CHAPITRE II

**Description de processus de fabrication
de rond à béton au niveau de l'Usine
chinoise**

II.1 Présentation de l'organisme d'accueil :

INTRODUCTION:

SARL DONG NAN MATERIAUX est spécialisée dans le laminage à chaud des fers marchands et du rond à béton, avec une capacité de production installée de 1008000tonnes par an. Dong Nan Matériaux est fermement attaché à la qualité et au service client. Ils sont déterminés à fournir à leurs clients les meilleurs produits et services possibles. L'entreprise dispose d'une équipe de professionnels expérimentés et qualifiés qui s'engagent à répondre aux besoins de leurs clients, qui assure la production des ronds d'acier laminées à chaud.

Le site compose de trois parties essentielles qui sont :

- Le broyeur : la préparation de la ferraille
- L'aciérie : la production des billettes.
- Le laminoir : la production des ronds d'acier

POSITION GEOGRAPHIQUE :



Figure II-1: Position géographique du société Dong Nan Materiaux

INFORMATIONS GENERALES DE L'ENTREPRISE:

Raison sociale	SARL DONG NAN MATERIAUX
Nature du local	Location privée
Directeur général	Weng jie
Siège social	22, Ferme Bouchenek Abdelkader, Mouzaia, W. Blida
Statut juridique	Société a responsabilité limitée
Nationalité	Algérienne
Date d'immatriculation	16/01/2014
Téléphone	05 55 55 77 77
Secteur d'Activité	Industrie sidérurgique
Nature d'activité	Production des différents produits sidérurgiques
Gamme de production	Le rond à béton
Position sur le marché	La plus petite entreprise de la sidérurgie en Algérie
Capital social	41 000 000,00DA
Capacité de production	1008000 tonnes par an.

ORGANIGRAMME DE LA SOCIETE :

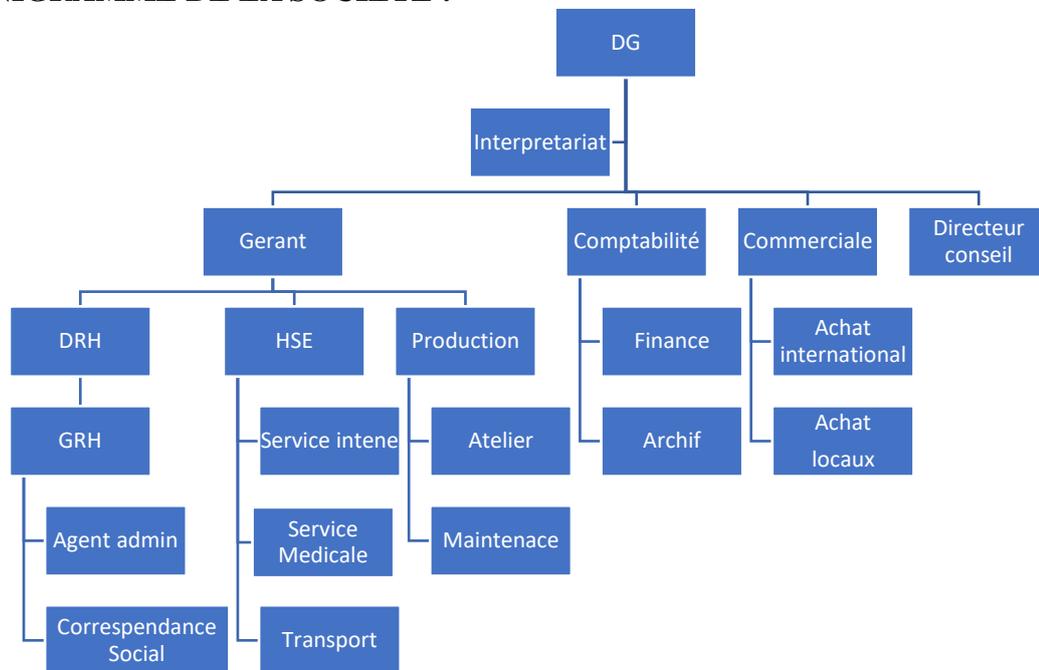


Figure II-2 : Organisme de l'entreprise

II.2 Processus de production :

Chapitre II : Description de processus de fabrication de rond à béton au niveau de l'Usine chinoise

Le processus de fabrication des produits sidérurgiques passe par plusieurs étapes. Dans la première étape, qui est le tri et séparation des ferrailles. La deuxième étape consiste en la fusion des matières premières (ferrailles) grâce à l'énergie électrique pour obtenir de l'acier liquide. Ce dernier est ensuite solidifié par moulage dans une machine de coulée continue pour obtenir des billettes. La dernière étape, appelée le laminage, consiste en une série d'opérations transformant les billettes obtenues par coulée en produits longs, de formes et de dimensions déterminées (voir Figure II-3).

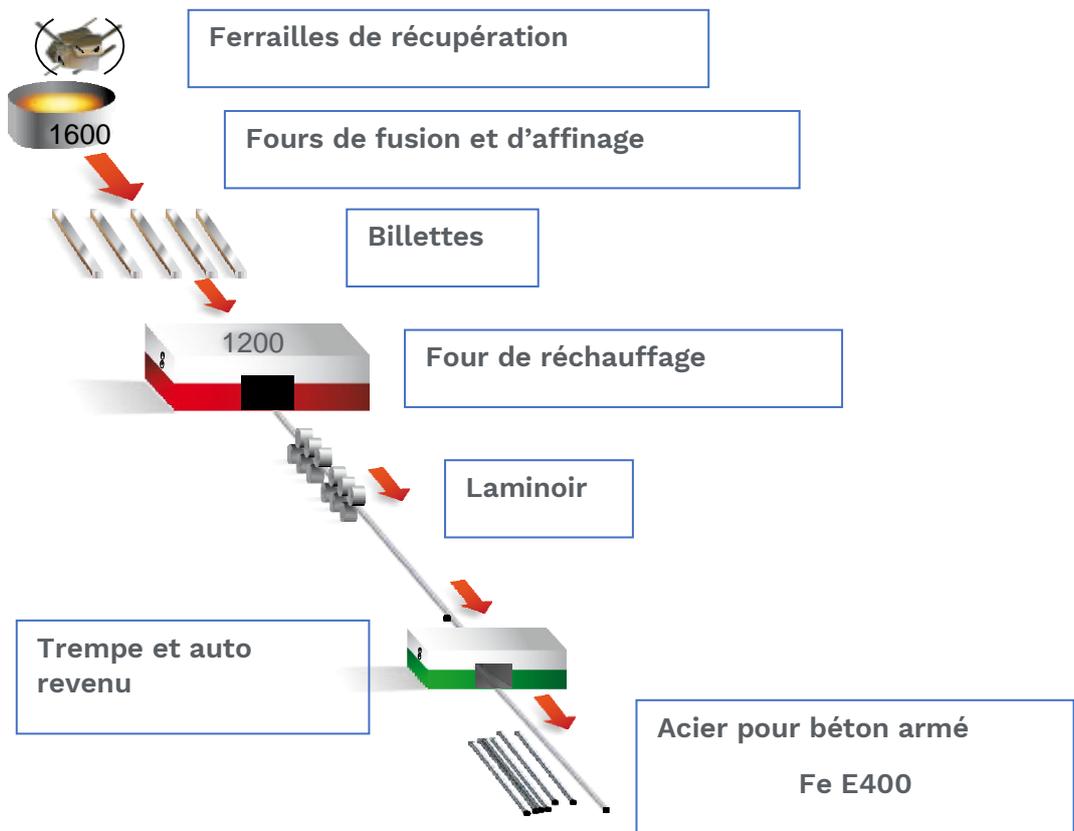


Figure II-3: aciers laminés à chaud– cycle de production

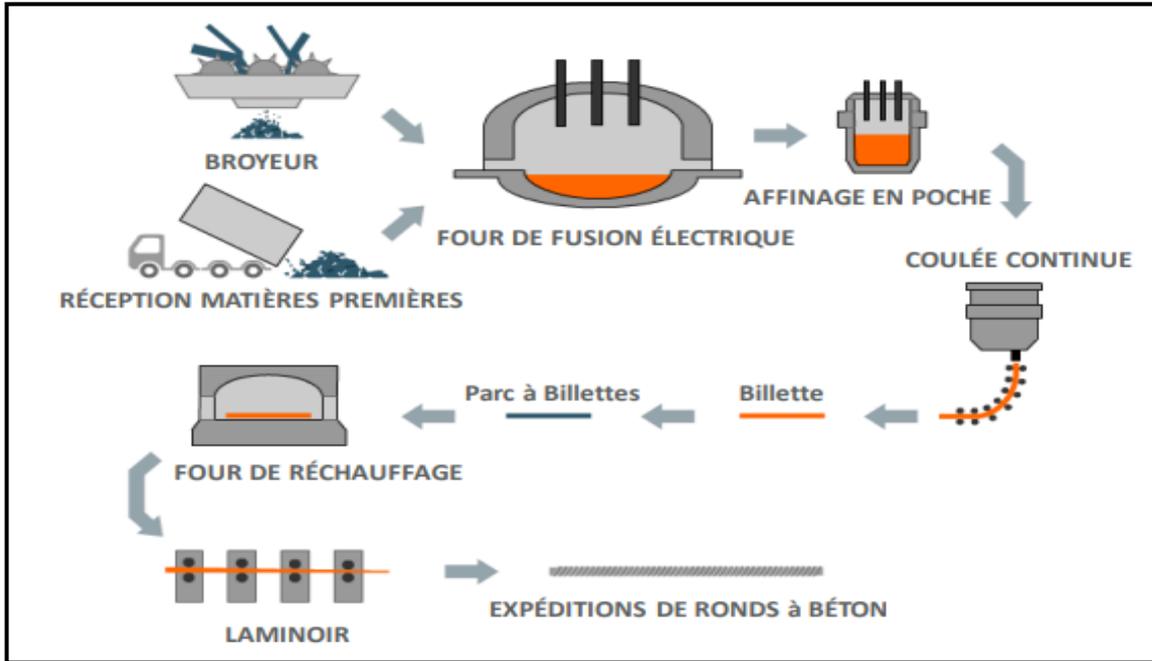
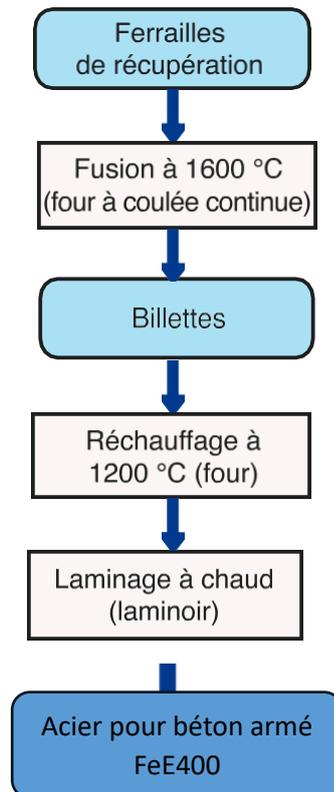


Figure II-4:aciers laminés à chaud – cycle de production.



II.3 Les étapes de recyclage du métal :

II.3.1 Tri et séparation des ferrailles: Matière première:

Pour produire le rond à béton au sein de la société chinoise utilise comme matière première les scraps, les ferrailles et les déchets métalliques afin de fabriquer des billettes en acier de nuance diverses différentes.

Le processus consiste dans un premier temps à séparer les ferrailles en trois zones selon leurs tailles, ce processus se déroule en plusieurs étapes :

La première étape consiste à trier et séparer les ferrailles en trois zones selon leur taille :



Figure II-5:Déchets métalliques

- **Zone 1 : Gros morceaux:** Cette zone comprend les ferrailles de grande taille, généralement des morceaux de structures métalliques, de véhicules ou de machines.
- **Zone 2 : Morceaux moyens:** Cette zone comprend les ferrailles de taille moyenne, telles que des barres d'armature, des profilés et des tôles.
- **Zone 3 : Petits morceaux :** Cette zone comprend les ferrailles de petite taille, telles que des copeaux métalliques, des chutes de production et des déchets industriels.

Ce tri est important car il permet d'adapter le processus de traitement ultérieur à la taille des ferrailles.

➤ **Zone 01 : Zone de la ferraille massive :La cisaille par la soudure chalumeau:**

Le cisaille par la soudure chalumeau permettent de découper à longueur souhaitée des ferrailles lourdes (rails de chemins de fer) ou légères (tôles issues d'appareils électroménagers, chutes neuves, bardages provenant de la démolition ou d'éléments de toiture).



Figure II-6: Gros morceaux



Figure II-7: Le cisaille par la soudure chalumeau

➤ **Zone 2 : Zone de la ferraille moyenne : Le compactage**

Les compacteurs sont des machines qui compactent les ferrailles leur moteur peut être ou hydraulique et elles fonctionnent grâce à des unités de compression qui aplatissent la ferraille pour obtenir des paquets de déchets ensuite transmis aux aciéries ou aux fonderies.

Celles-ci sont davantage adaptées pour compresser et compacter les déchets les plus solides. Plus une presse à ferrailles est efficace, plus elle permet d'obtenir des paquets denses et peu volumineux.



Figure II-8: Compacteur hydraulique

➤ **Zone 3 : Petits morceaux: Le Broyeur :**

L'unité de l'aciérie est alimentée par la ferraille aussi bien locale. La chaîne de broyage est très importante dans l'usine parce qu'elle fournit une ferraille qui est facilement consommée par le four de l'aciérie, aussi elle réalise le recyclage du fer et métaux non utilisables cela permet non seulement des économies de matières premières, mais aussi des économies d'énergie. Sa finalité est de réduire en tous petits morceaux des déchets de métaux. L'utilité du broyage de la ferraille est de permettre par la suite un transport facilité, un volume grandement diminué, et la possibilité, de compacter les métaux broyés en briquettes destinées à la refonte.



Figure II-9: Le Broyeur

II.3.2 Aciérie électrique :

Dans l'industrie sidérurgique, une aciérie, c'est une usine pour la production de l'acier en grandes quantités, sous la forme de produits semi-finis. On distingue généralement deux types d'aciéries : les aciéries à oxygène, qui traitent la fonte liquide produites par les hauts fourneaux, et les aciéries électriques, qui produisent de l'acier à partir de ferrailles recyclées.

Pour le cas de l'aciérie du parc industriel Dong Nan Matériaux, elle est de type électrique. La production d'une brame au sein de l'aciérie, passe par quatre étapes fondamentales, à savoir :

- 1) **La réception de la matière première.**
- 2) **La fusion au four électrique.**
- 3) **L'affinage en poche.**
- 4) **La coulée continue.**

Composées de six fours arc électrique de capacité totale 6 tonnes pour transformer les ferrailles au liquide et en billettes.

FOUR ELECTRIQUE :

Four électrique par induction est un four électrique fonctionnant phénomène de chauffage par induction de métal. L'avantage de ce procédé est qu'il est propre, économe en énergie et permet de mieux contrôler la fusion des métaux. Les fonderies modernes utilisent ce type de four qui supplante les hauts fourneaux pour produire la fonte, car ces derniers émettent beaucoup de poussières et polluent beaucoup.



Figure II-10:Four électrique par induction

COMPOSITION CHIMIQUE :

L'analyse chimique de nos échantillons a été réalisée en spectroscopie aux Laboratoires centraux au niveau de la société sidérurgique « SARL Dong nan matériaux ».

Le rond à béton doit avoir une composition chimique conforme à la norme (Tableau) afin d'obtenir facilement les propriétés mécaniques désirées correspondant à une classe technique de 400MPa pour la limite d'élasticité.



Figure II-12: Spectrometre



Figure II-11: Un échantillon

La composition chimique du rond à béton, telle que déterminée par l'analyse doit être conforme au Tableau II-1.

Tableau II- 1 : composition chimique du rond a béton.

Elément en % Valeur-MAX	C	Si	Mn	P	S	Cr
Fe E400	0.22	0.60	1.60	0.05	0.05	0.025

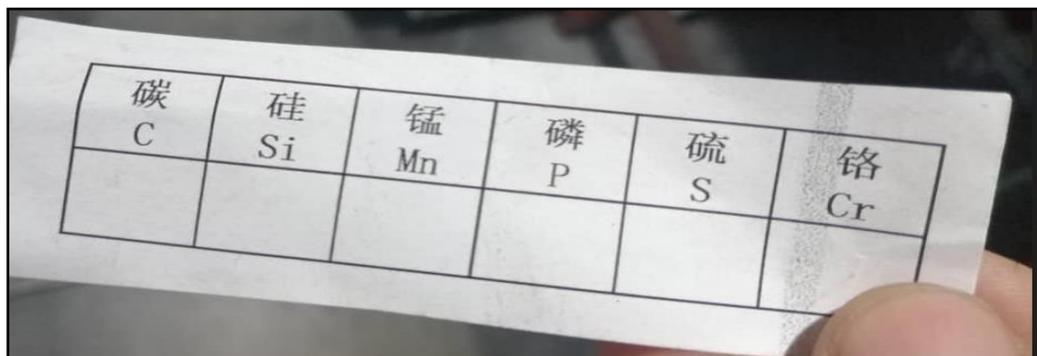


Figure II-13: composition chimique

Calculer le carbone équivalent, CEV:

$$c_{ev} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + V + Mo)}{5} + \frac{(Cu + Ni)}{15}$$

Où C, Mn, Cr, V, Mo, Cu et Ni sont les fractions massiques, exprimées en pourcentages, des éléments chimiques respectifs de l'acier.

COULEE CONTINUE :

Le métal est directement versé dans la lingotière. Au début pour éviter les projections du métal sur les parois, l'acier est coulé lentement, une fois la couche amortissant le métal liquide est formée, on augmente la vitesse de coulée au maximum. A la fin lorsque le niveau du métal s'approche de la masselotte on diminue la vitesse de coulée, afin de réaliser la retassure en haut.

La coulée continue est un procédé de coulée du métal liquide de la poche dans un moule en cuivre doublé d'une couche de chrome (Figure II-14). Le moule est refroidi dans un cycle fermé d'eau. Ce procédé plus économique par rapport aux procédés, grâce à sa rapidité et à l'économie en main d'œuvre et permet d'obtenir directement les demi-produits appelés billettes destinés aux opérations tels que : laminage.

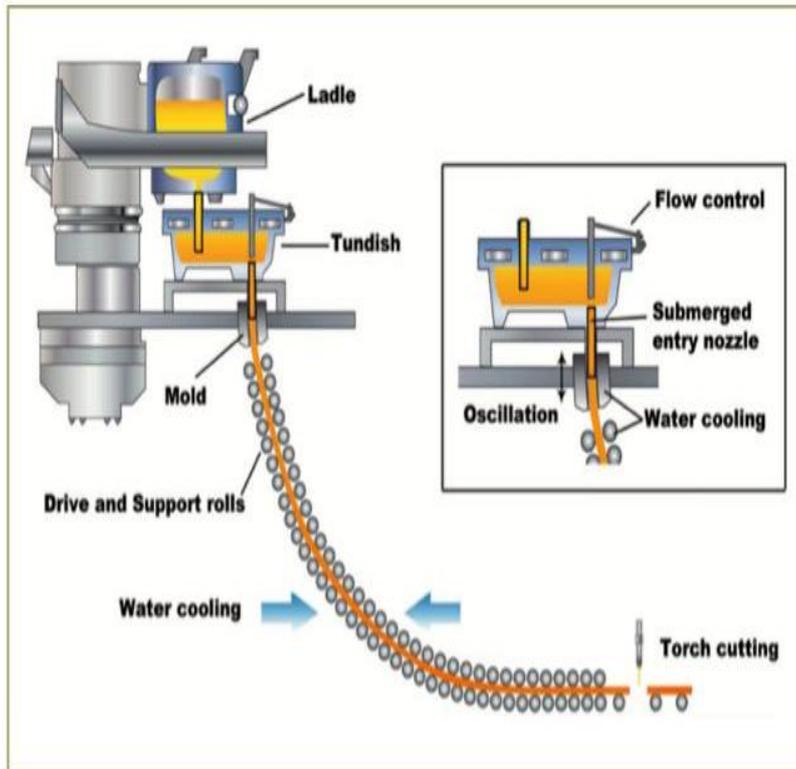


Figure II-14: coulée continue

LES CARACTERISTIQUES DE LA BILLETTE :

La billette est un produit semi-fini de section 70×70 mm et de longueur de 2m destiné à la fabrication de rond à béton. La fabrication se base sur le principe du laminage à chaud.

- Billette en acier au carbone.
- Forme : Parallélépipède.
- Longueur : 2 m.
- Section : 70 x 70 mm²
- Poids moyen : 75 kg
- Nuances : FeE400, NS : selon la norme NM 10080.

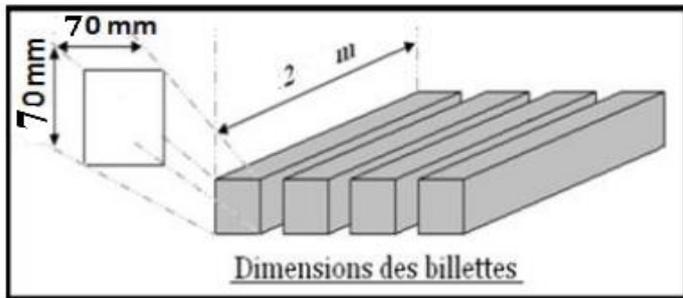


Figure II-15: Dimension des billettes

II.4 Rond à béton :

Les ronds à bétons ou armatures à bétons sont des barres métalliques faisant partie de la construction des structures en béton. Dans la majorité des cas, il existe deux sortes de ronds à bétons tels que les ronds à bétons lisses et les ronds à bétons crénelés. Généralement, les structures de béton sont sollicitées à différents efforts, c'est pour cela que les ronds à bétons se présentent sous différents diamètres.

<u>Produit</u>	<u>Caractéristiques</u>	<u>Diamètre</u>	<u>Livraison</u>	<u>Utilisation</u>
FeE400NS	Nervuré, Dur	8/ 10/ 12/ 14	Couronne, barre	Constitution des armatures passives des constructions en béton armé

LE FOUR DE RECHAUFFAGE :

Le rôle du four de réchauffage est d'élever la température des billettes à un niveau où leur état permet leur mise en forme à des taux de déformation importants. Elles passent alors dans le laminoir à chaud où leur épaisseur est réduite. Les billettes sont subies d'une température qui arrive jusqu'à 800 °C qui sont déplacés grâce au longerons mobiles. Ce four est équipé d'un système de récupération du gaz brûlé pour préchauffer les chambres ce qui diminuera l'énergie consommée.



Figure II-16:Le four de réchauffage

II.4.1 Cycle de production

II.4.1.1 Description du train de laminage

Les billettes, chauffées à 1200°C dans un four à sol mobile, passent par un train de laminage pour aboutir à un produit de forme et de qualité bien déterminée.

Le train composé de 11 cages (8 Horizontales et 2 verticales, 1 trio), consiste à faire passer les billettes dans des cages de laminage dans lequel il y a 2 cylindres en rotation. Chaque cage assure un passage avec une forme et une section déterminée. Ces formes et ces sections sont conçues de manière à ce qu'après le passage dans les onze (11) dernières cages on obtienne le produit fini dans sa forme et sa section définitive. Il est à souligner qu'à la sortie qu'à la sortie de la dernière cage, le fer à béton est introduit dans un équipement de traitement thermique permettant de faire baisser en moins d'une seconde la température de la barre de 1200° à 300°, ce traitement thermique donne à la barre les caractéristiques mécaniques requises pour les fers à béton.

Le laminage donne la forme souhaitée à l'acier chaud provenant du four à longerons mobiles en le pressant en continu entre deux cylindres contrarotatifs. Les cylindres en contact avec de profils de cannelures. Pour limiter la déformation et le nombre de passes successives.



Figure II-17:cages





Figure II-18: train de laminage

LES CAGES :

Chaque cage collecte un moteur à courant continu, un réducteur de vitesse et deux cylindres qu'elles tournent dans deux sens opposés pour réduire la hauteur et la largeur de la matière première, ainsi que la vitesse et la distance entre les cylindres de chaque cage sont différentes à l'autre .Plus la section diminue, plus la vitesse augmente.



Figure II-19:cage

II.4.1.2 Les cisailles :

La ligne du laminage contient deux cisailles ébouteuses (cisaille 1 et 2), la première coupe le bout avant de la billette chaude pour éviter le cobble (la même chose pour la deuxième qui coupe de nouveau le bout avant en plus du bout arrière de la billette pour la même raison.

Le cobble (également appelé défaut de tête) désigne une imperfection ou une irrégularité indésirable présente à l'extrémité d'une billette chaude. Cette imperfection peut prendre différentes formes, telles que des fissures, des inclusions, des plis ou des ruptures.

La présence de cobble dans une billette peut avoir des conséquences sur la qualité du produit final laminé. En effet, ces imperfections peuvent fragiliser la structure du métal et entraîner des défauts tels que des ruptures, des fissures ou des torsions pendant le processus de laminage.

C'est pour cette raison que les deux cisailles ébouteuses sont employées sur la ligne de laminage. La première cisaille (cisaille 1) a pour objectif de retirer le bout avant de la billette chaude, éliminant ainsi les éventuels cobbles présents à cet endroit. La deuxième cisaille (cisaille 2) effectue un double contrôle en coupant à la fois le bout avant et le bout arrière de la billette, s'assurant ainsi d'éliminer toute trace de cobble susceptible d'affecter la qualité du produit final.

Chapitre II : Description de processus de fabrication de rond à béton au niveau de l'Usine chinoise



Figure II-20:La cisaille 1

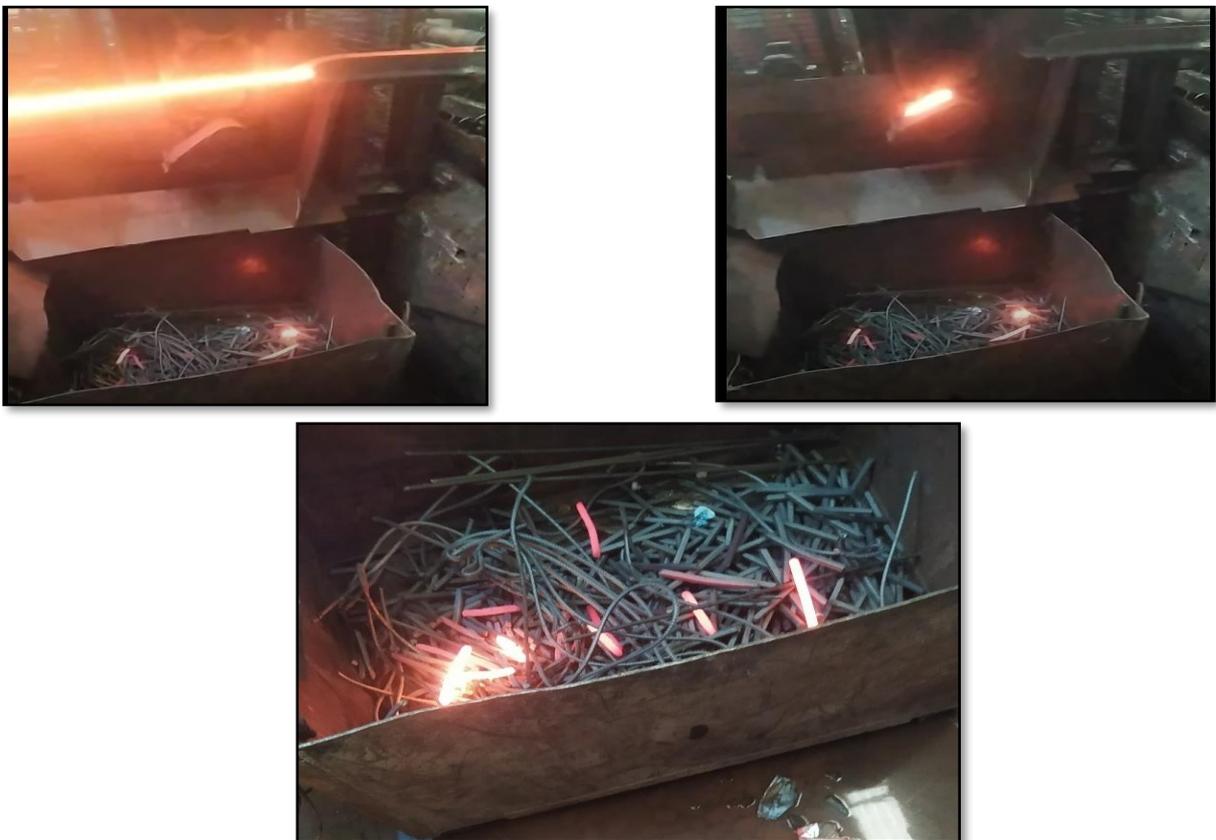


Figure II-21:La cisaille 2

II.4.1.3 Thermex :

Ce système de refroidissement continu situé après la dernière cage du laminoir, ce qui permet un refroidissement contrôlé et continu de la barre de manière à obtenir les caractéristiques techniques exigées.



Figure II-22: Système de refroidissement accéléré

II.4.1.4 Le cisaille 3

Le cisailles 3 permettent de découper à froid, la longue barre de fer à béton en quatre (04) barres de 36 m.



Figure II-23: La cisaille 3.

II.4.1.5 Twin-channel et cooling-bed :

Le twin-channel porte la barre dans un canal fermé jusqu'à ce qu'elle soit à une position d'arrêt, les volets s'ouvrent ensuite, alternativement, par l'intermédiaire d'un système hydraulique, et décharge la barre dans la table de refroidissement. Le but de COOLING BED est de maintenir la barre bien alignée et aussi pour adoucir le produit fini



Figure II-24: Système de refroidissement à l'air (COOLING BED).

II.4.1.6 Cisaille à froid de 12 m:

Elle sert à couper les barres en longueurs commerciale en générale 12 m.



Figure II-25: Cisaille à froid de 12 m.

II.4.1.7 Zone de formation de fardeaux :

Cette zone est composée par des chaînes de transfert des barres, un chariot de transfert des barres du convoyeur à rouleaux sortie cisaille à froid vers la zone de formation des fardeaux, une commande groupe pour la formation du fardeau et des bras porteurs des fardeaux.



Figure II-26: Formation des fardeaux

II.4.1.8 Zone de stockage et de pesage et étiquetage :

Chaque fardeau est pesé et acheminé vers l'aire de stockage appropriée. Le poids des fardeaux moyens, sont comprises entre 2 tonnes et 3 tonnes elles seront expédiées pour la vente directe.

L'opérateur de ce poste pèse le poids de la couronne pour être noté sur l'étiquette de la couronne.



Figure II-27: Zone de stockage

II.5 Caractéristiques mécaniques :

II.5.1 Caractéristiques de traction :

Les caractéristiques principales sont :

1) **Résistance statique** : est capacité à maintenir l'intégrité notamment en ce qui concerne les risques de rupture face aux sollicitations mécaniques. On examine dans certains cas les données en tenant compte de la température et/ou de la vitesse de déformation. Les valeurs de référence établies grâce à un essai de traction sont :

- **Re (limite d'élasticité) qui détermine la limite au-delà de laquelle apparaissent des déformations plastiques,**
- **Rm (résistance à la traction) qui caractérise bien la force maximale que peut supporter un élément de structure soumis à une traction pure.**

2) **Ductilité** : sa capacité à supporter une déformation. On suit, toujours au travers de l'essai de traction, les valeurs suivantes :

- **A (allongement après rupture),**
- **Ag : allongement réparti (observé sur l'éprouvette avant le début de la striction et correspondant à la force équivalente à la résistance à la traction).** Cette dernière valeur permet d'apprécier la sécurité en service. Eventuellement, on utilise R_m/R_e comme indice de la capacité de déformation plastique de l'acier. Le matériau doit être conforme aux prescriptions pour les caractéristiques de traction spécifiées dans le Tableau II-2 :

Tableau II-2: Caractéristiques mécaniques

Valeurs minimales	Caractéristiques mécaniques			
	Re min N/mm ²	Rm min N/mm ²	A min %	Rm/Re min
Fe E 400	400	440	14	1,1

LES ESSAIS MECANIQUES :

Deux types d'essais mécaniques ont été retenus pour notre étude, à savoir :

- Essais de traction.
- Essai de compression.



Figure II-28:Machine de traction et compression

ATELIER DE RECTIFICATION :

L'atelier de rectification est équipé d'un tour semi –automatique et d'une fraiseuse pour cylindres.

Ces machines permettent de réaliser une large gamme de travaux de rectification sur des pièces mécaniques, y compris des cylindres simples et des cylindres avec des nervures.

Le tour semi –automatique s'agit d'une machine à commande numérique (CNC) qui permet de rectifier la surface extérieure et intérieure des cylindres avec une grande précision.

La fraiseuse permet d'usiner des formes complexes sur les cylindres, telles que des rainures et des canaux de lubrification.



Figure II-29: Atelier de rectification

CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons donné une description générale de la société sidérurgique chinoise Dong Nan Matériaux est consacré aux descriptions de processus de production de société chinoise, en se focalisant sur le processus du laminage à chaude qu'au sein de lequel je réalise mon projet des modes opératoires.

Chapitre III

GAMME DE LAMINAGE DE FABRICATION DU ROND A BETON

INTRODUCTION

Les cannelures des cylindres de laminage jouent un rôle crucial dans le processus de fabrication du rond à béton. Elles permettent de déformer le métal et de lui conférer la forme et les propriétés souhaitées. Ce chapitre se concentrera sur l'analyse des cannelures utilisées dans l'usine de production de rond à béton.

III.1 TYPES DE CANNELURES :

Le laminage des tôles et des produits plats est assuré par des cylindres à table lisse légèrement bombée.

Les profilés en acier courant ou spéciaux sont laminés dans des cylindres dont la table comporte des rainures spéciales exécutées par tournage et qui correspondent à la forme à donner au produit. Ces rainures le long du diamètre du cylindre s'appellent cannelures. Les cannelures des deux cylindres forment l'empreinte reproduisant le tracé ou profil désiré.

Le tracé des cannelures a pour but d'effectuer le laminage correct au produit en utilisant le minimum de passages compatible avec la qualité, et également en réalisant l'engagement sans patinage de la barre (influence sur la production), et enfin il doit rechercher l'usure minimale des cannelures [30].

On distingue plusieurs types de cannelures selon le produit final à obtenir :

III.1.1 Cannelures dégrossisseuses :

Elles ont pour but unique d'allonger et de réduire la section du lingot ou du demi-produit jusqu'à la prise de fer des cannelures finisseuses.

Elles sont de plusieurs types : Rectangulaires, carrées, losange, ovale....

La séquence de dégrossissage s'effectue sur des systèmes de ces cannelures dont on distingue :

- a) **Système de cannelure rectangulaires :** Le lingot ou le demi-produit est écrasé dans une première cannelure rectangulaire, puis retourné de 90° et ripé devant la seconde cannelure. Le retournement permet l'écrasement de la barre de ses deux faces.

Le taux de réduction est de 10 à 30 %, l'allongement est de 1,1 à 1,25, Ce système est employé dans des bloomings et des trains de dégrossissage.

- b) **Système losange-carré :** Il assure des allongements allant de 1,25 à 1,5. Le produit issu du losange passe après dans le carré. Ce système est utilisé pour la fabrication des carrés et des plats.

Système ovale-carré : C'est le système le plus répandu. Il permet de réaliser les plus grands allongements : 1,5 à 2,5 et même plus. La forme de l'ovale joue ici un grand rôle pour augmenter les possibilités d'écrasement du carré [22].

III.1.2 Cannelures finisseuses :

Ces cannelures terminent la formation du profil final en tenant compte du retrait du métal. Leurs formes sont très diverses et dépendent des profils à laminier et épousent la forme de ceux-ci :

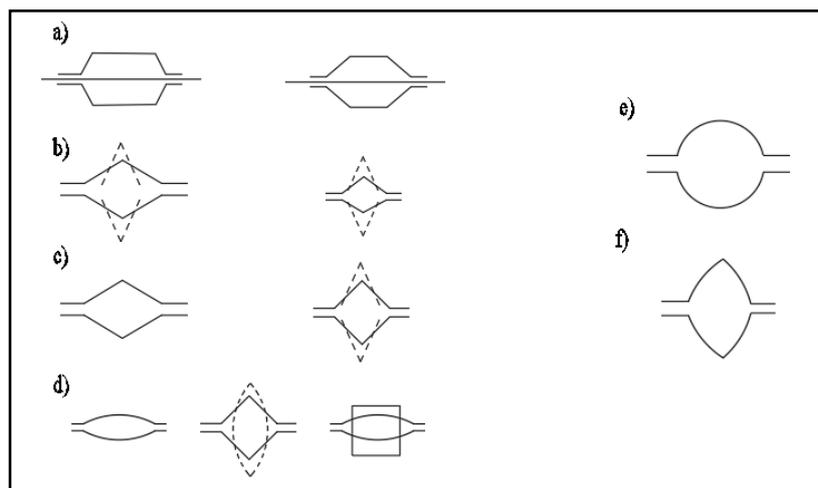


Figure III-0-1: Gammes de cannelures.

- | | |
|--------------------|----------------------|
| a) Carré | d) Ovale-carré |
| b) Losange-Losange | e) Cannelure ronde |
| c) Losange-carré | f) Cannelure ogivale |

III.1.3 Méthodes du guide :

Les différentes méthodes au guide sont représentées dans le schéma de Figure 0-2

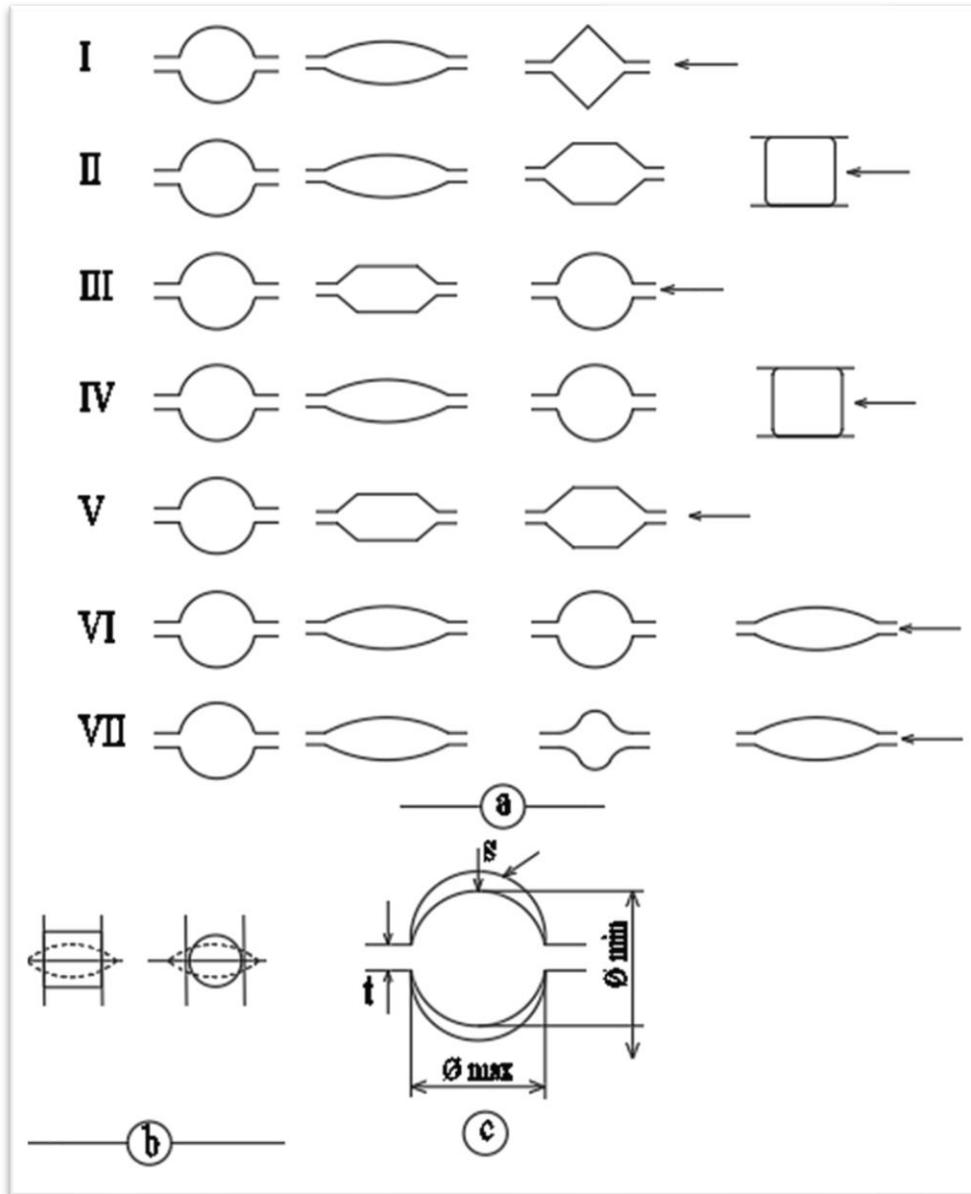


Figure III-2:Laminage des ronds

a) Différentes méthodes

b) Rond au guide formation de l'ovale

c) Rond finisseur maximum minimum

Méthode 1 : Section de départ : carrée

Méthodes 2-5 : Pour les grands diamètres, Section avant finisseuse : Ovale.

Méthode 3 : Pour les très grands diamètres.

Les autres méthodes pour les moyens et petits diamètres.

Amélioration des dimensions : On augmente la valeur du diamètre horizontal de la cannelure de 1% par rapport au diamètre verticale mais pratiquement, lors du laminage, on retrouve la position s avec le jeu t .

SYSTEME OVALE-CARRE :

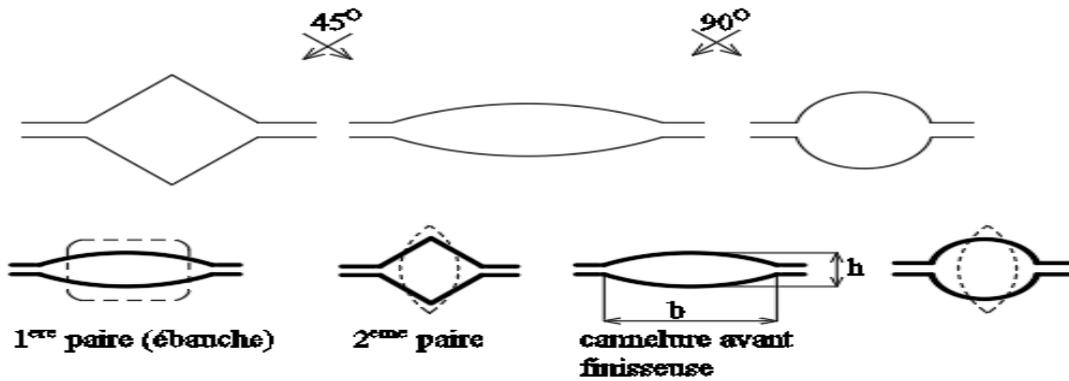


Figure III-3: système ovale -carre

III.2 Systèmes de cannelures pour ronds et carrés :

Le métal est laminé dans les cannelures dégrossisseuses (rectangulaires, carrées) , puis dans les cannelures intermédiaires (rectangulaires, losanges, ovales) ,puis dans les cannelures avant-finisseuses(rondes, carrées)

Les dimensions des ovales et des carrés correspondant au ronds de diamètres 8 a 120mm sont données par les graphes de la Figure III-4.La figure donne les dimensions de l’ovale pour les ronds atteignant 250mm [22].

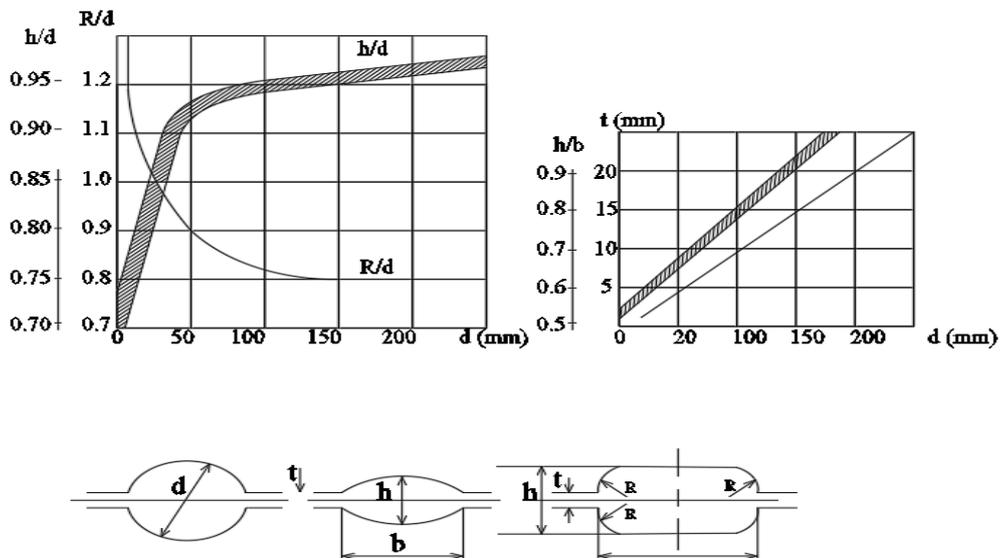


Figure III-4: Variation des dimensions de l’ovale en fonction du rond.

III.2.1 Contrôle des produits ronds :

Le système ovale-carré son avantage d'obtenir les plus grands coefficients d'étirage, certains inconvénients qui sont :

On ne peut pas appliquer ce système pour les barres de grandes sections.

L'irrégularité de déformation des barres carrées sur la largeur de la cannelure ovale provoque des défauts de la surface de barre laminée.

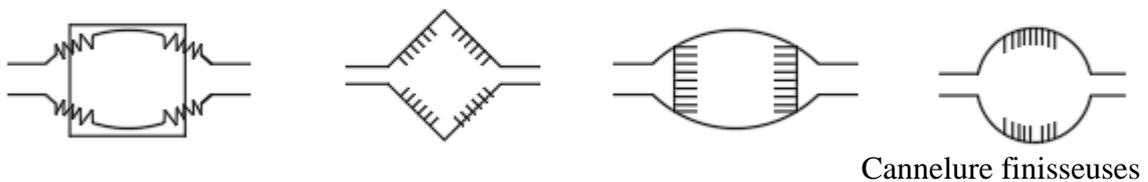


Figure III-5: Formation des rides lors du laminage des ronds.

III.3 DEFANTS DES BARRES LORS DU LAMINAGE:

Le laminage permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques du produit fini en agissant sur les défauts issus de l'élaboration de l'acier et de la coulée continue. Prenons le cas de la ségrégation qui peut être atténuée lors de la mise en forme de la barre par le phénomène de diffusion limitée. La déformation subie par la barre lors des passes successives permet également de refermer les porosités et de déformer voire fragmenter certaines inclusions [23].

III.3.1 Défauts géométriques :

Les machines et les outils (cylindres, cages...) ne sont pas infiniment rigides, se déforment, et cèdent élastiquement sous les efforts appliqués. Cela perturbe aussi la géométrie des produits, créant des problèmes de profil et de planéité des produits plats. Des problèmes de réglage des outils de production peuvent avoir des conséquences du même ordre. Des défauts géométriques peuvent apparaître à la suite de la déformation locale du rouleau en contact avec la tôle dans l'emprise. Les contraintes de pression dans le contact sont relaxée par l'élargissement de la tôle qui est fort si les rapports épaisseur/largeur et épaisseur/longueur de contact sont grands (c'est le cas du laminage à chaud). Cet élargissement est faible car inhibé par le frottement des outils dans le cas du laminage à froid. Les contraintes de contact, donc les déformations des cylindres, seront très fortes si

on lamine des produits minces parce que les effets du frottement seront exacerbés par le grand rapport surface/volume. Le rôle des efforts de tension et contre tension imposées par les moteurs de bobinage est dans ce cas primordial pour minimiser ces défauts. A ces défauts d'origine mécaniques se superposent des déformations d'origine thermiques, liées à la dilatation, qui conduit à une hétérogénéité du diamètre du cylindre le long de son axe. Ces dilatations peuvent entraîner des hétérogénéités d'épaisseur des produits finaux [34] .

III.3.2 Défauts de surface :

Parmi les défauts de surface se distinguent les défauts de type chimique comme la corrosion, incrustation d'oxyde, pollutions par les lubrifiants ou des défauts de rugosités. Ce dernier cas est très directement contrôlé par la mécanique du contact produit-cylindre. Des microfissures peuvent provenir de contraintes de traction superficielle, des porosités peuvent être la conséquence du piégeage de lubrifiants (poches d'huile) ou de phénomènes de corrosion, du rebouchage incomplet de trous initiaux induits par un décapage par exemple. Pour minimiser ces déformations ou corriger ces défauts, on peut recourir à des actionneurs de profil, en pratique des vérins d'équilibrage du cylindre de travail ou de cambrage des cylindres d'appui. Le pilotage de ces actionneurs n'est toutefois pas aisé. D'autres techniques de correction peuvent être utilisées : la translation des cylindres de travail (roll shifting) [24] .

III.3.3 .Défauts des barres lors du laminage :

Malgré les bienfaits du laminage sur la santé interne des produits issus de la coulée continue, des défauts peuvent apparaître si l'outil de production est mal maîtrisé. Les défauts observés en laminage peuvent être classés en deux catégories.

Les défauts dus à un mauvais réglage du laminoir Les défauts apparaissant lors de la mise en forme [25] .

III.3.4 Défauts dus à un mauvais réglage du laminoir :

Un mauvais réglage du train de laminage peut engendrer un grand nombre de défauts qui auront des conséquences non négligeables sur la qualité du produit fini. Parmi ces défauts on retrouve :

- **la pinçure** : elle se produit lorsque la levée entre les cylindres n'est pas assez élevée, ce qui a pour conséquence un débordement de l'acier entre les cordons dû à une arrivée trop importante de matière (Figure III-6).

- **le rond maigre** : il est la conséquence d'une levée entre les cylindres trop importante et un manque de matière apparaît sur les bords libres (Figure III-6).

- **les cannelures marquées en creux** : des morceaux de la cannelure des cylindres se détachent et donc un marquage sur la barre laminée apparaît. Ce défaut est dû à un mauvais refroidissement des cylindres.

- **le cintrage** : ce défaut est fréquent lors du laminage de profilés. Il est dû à un mauvais réglage des outillages (vitesse de rotation des cylindres non identique dans une même cage) ou à un refroidissement hétérogène.

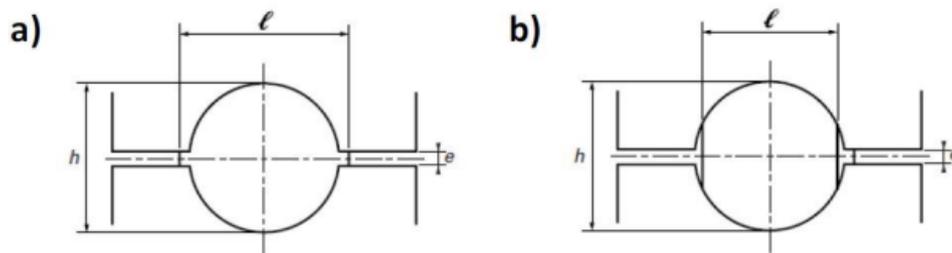


Figure III-6: (a) de la pinçure et (b) d'un rond maigre[36] .

III.3.5 Défauts apparaissant lors de la mise en forme :

Les défauts recensés lors du laminage apparaissent généralement en peau de la barre laminée [27] :

- **les criques de forgeabilité** : ces criques apparaissent lorsque la température de laminage est trop faible ou qu'elles sont déjà présentes sur le bloom issu de la coulée continue. Lors du laminage, ces défauts ont tendance à s'allonger.

- **les tapures de refroidissement** : c'est une rupture du métal provoquée par des tensions qui sont dues à un gradient de température trop important entre le cœur et la peau du produit laminé. Ce défaut est perpendiculaire à la surface de la barre et se propage jusqu'à cœur.
- **les tapures de réchauffage** : c'est l'inverse de la tapure de refroidissement. Si la température en peau de la barre augmente trop rapidement et que le cœur reste froid alors la dilatation va créer des tensions conduisant à une rupture du métal en partant du cœur.
- **la décarburation** : c'est la réduction de la teneur en carbone de la surface qui se produit en présence d'oxygène et avec une température élevée. La décarburation apparaît à chaque étape de chauffage. Les aciers avec une forte teneur en carbone y sont fortement sensibles.

III.4 Avantage de laminage :

LES BENEFICES DE L'ACIER LAMINE A CHAUD :

L'acier laminé à chaud requiert généralement moins de traitement que l'acier laminé à froid, ce qui le rend beaucoup moins cher. Parce que l'acier laminé à chaud est autorisé à refroidir à température ambiante, c'est en fait normalisé ce qui signifie qu'il est exempt de contraintes internes qui peuvent provenir de la trempe ou du durcissement à froid.

L'augmentation de la capacité d'usinabilité. En effet, la capacité peut être augmentée de 20% grâce à un laminage.

La facilité d'approvisionnement des pièces. Le laminage est un procédé très utilisé dans le monde ce qui facilite le remplacement des différentes pièces ayant eu un bris. 5 millions de tonnes de matériaux diverses sont laminés par année dans le monde. -La précision du procédé. En effet, la concentricité, les tolérances de la dimension et la rectitude sont très précises.

L'acier laminé à chaud requiert généralement moins de traitement que l'acier laminé à froid, ce qui le rend beaucoup moins cher. Parce que l'acier laminé à chaud est autorisé à refroidir à température ambiante, c'est en fait normalisé ce qui signifie qu'il est exempt de contraintes internes qui peuvent provenir de la trempe ou du durcissement à froid.

L'acier laminé à chaud est idéal quand les tolérances dimensionnelles ne sont pas aussi importantes que la force globale du matériel, et où la finition de surface n'est pas une préoccupation majeure. Quand la finition de surface est un souci, la mise à l'échelle peut se faire par ponçage, sablage ou décapage par bain d'acide. Une fois la mise à l'échelle faite, diverses brosses ou finitions miroir peuvent être aussi appliquées. L'acier décalaminé offre aussi une meilleure surface pour la peinture et autres revêtements de surface.

III.5 Type de défauts apparus lors la production de rond à béton à dong nan matériaux :

Lors de la production de rond à béton dans l'usine sidérurgique Dong nan matériaux les producteurs rencontrent des défauts, parmi ces défauts nous mentionnons :

III.5.1 Moustache :

Définition : C'est un défaut longitudinal sur l'un ou les deux cotés du métal.

Identification : Visuelle.

Origine : - Ce défaut se produit dans la 8ème cage quand le jeu entre les galets est non convenable (diminution du jeu, T° plus élevée ou excès de métal).

- Mauvais centrage de la boîte à entrée cage 8 par rapport au calibre.

Remède : - Réglage du jeu des cylindres suivant la gamme.

- Changement de la boîte d'entrée cage 8.

- Recentrer la boîte d'entrer cage 8 .



Figure III-7: Défaut de moustache.

III.5.2 Hors tolérance diamètre :

Définition : Quand le diamètre du métal dépasse les écarts de tolérance supérieure ou inférieure on dit que le métal est hors Tolérance en plus ou en moins.

Identification : Visuelle.

Origine :

- Mauvais réglage jeu des cylindres des cages finisseuse ;
- Usures des calibres ;
- Mauvais remplissage métal des calibres finisseurs.

Remède :

- Réglage du jeu des cylindres dans les cages finisseuses ;
- Changement des calibres usés ;



Figure III-8: Hors tolérance diamètre.

III.5.3 Chutes :

Définition : Barres inférieures à 12m après cisaille a froid.

Identification : Visuelle et mesure.

Origine : - Défaut de coupe au niveau de la dernière cisaille.

- Défaut d'optimisation de longueurs.
- Longueurs des billettes.

Remède : - Réglage des paramètres des coupes au niveau de la cisaille.



Figure III-9: Défaut de chutes

III.5.4 Fissures :

Définition : C'est une ouverture ou une entaille longue et étroite sur la surface laminée du métal.

Identification : Visuelle.

Origine :

- Mauvaise qualité interne des billettes ;
- Désaxage des cylindres ;
- Boite déchireuse défectueuse.

Remède :

- Respecter le tonnage prévisionnel des cannelures et des cages ;
- Eliminer le désaxage des cylindres des cages ;
- Réglage du refroidissement du train selon la gamme.

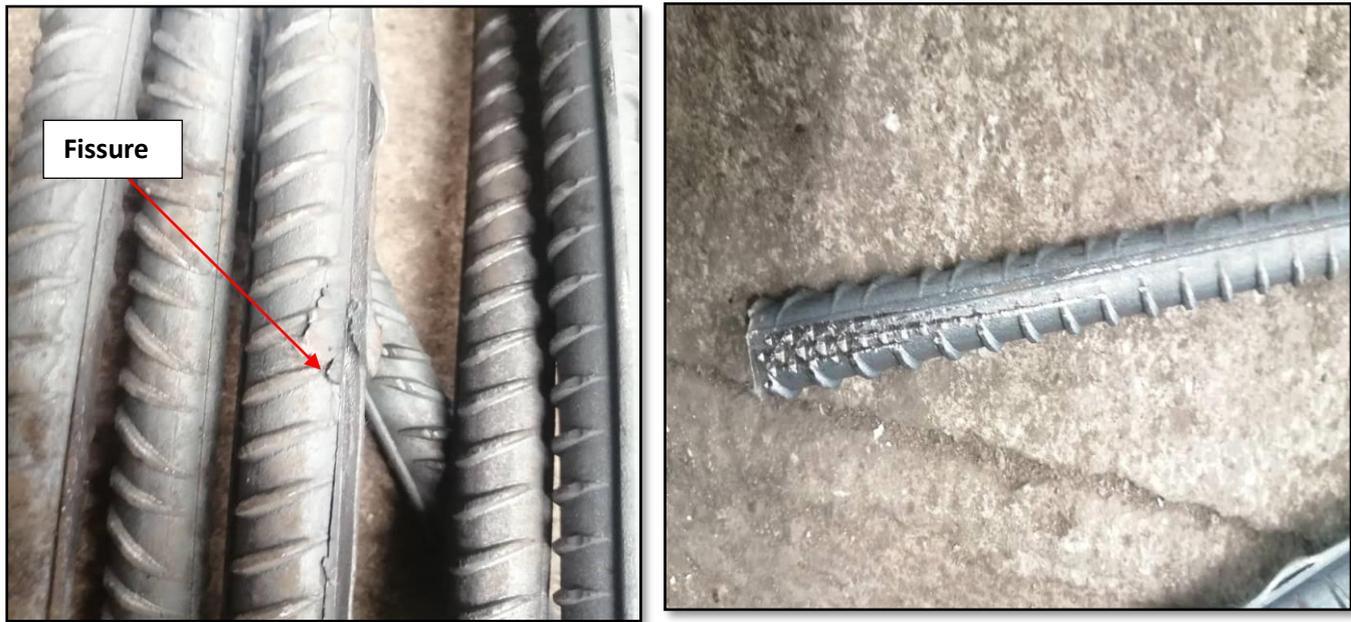


Figure III-10: Défaut de fissures

III.5.5 Ondulation :

Définition : Arc ondulé non rectiligne sous forme de vague.

Identification : Visuelle.

Origine:

- Non respect des pressions d'eau pour le premier et le deuxième tronçon du thermex ;
- Mauvais état de la voie à rouleau après thermex.

Remède :

- Remise en état partiel de la voie à rouleaux après thermex ;
- Respect des pressions d'eau pour le premier et le deuxième tronçon du thermex



Figure III-11: Défaut d'ondulation.

III.5.6 Tâche d'huile :

Définition : Des barres tachées par l'huile

Identification : Visuel

Origine : - Eclatement du flexible d'huile zone Formation Fardeau

-L'huile des ponts roulants

Remède :- Élimination des fuites d'huile

-Entretien des ponts roulants



Figure III-12: Défaut de taches d'huile.

Chapitre IV

Amélioration du processus de fabrication du rond à béton a l`Usine

Nos recommandations

technologiques.....

INTRODUCTION

Le laminage consiste à déformer et allonger un lingot porté à la température de laminage entre deux cylindre tournent en sens inverse. Dans cette étude, nous étudions les paramètres dimensionnels, les paramètres dynamiques (vitesse de laminage) et les paramètres énergétiques (puissance de laminage) d'une gamme des cannelures et on a optimisé le nombre de passe pour diminuer le coût et améliorer la technologie de laminage des profilés ronds.

IV.1 La première gamme des cannelures :

Les types de cannelures utilisées sur le train combiné de la société chinoise sont les suivants :

- La première cage de type trio du groupe dégrossisseur utilise deux cannelures rectangulaires et une carré.
- Les blocs du groupe dégrossisseur 2 jusqu'au 5 utilisent le système ovale-carré.
- Les blocs du groupe intermédiaire 6 jusqu'au 8 utilisent le système ovale-carré
- Les blocs finisseurs de 9-10-11 utilisent le système ovale-rond.

Le calcul est effectué sur un rond de diamètre 12mm et le produit initial est une billette de section 70*70 mm et de longueur 2m.

IV.1.1 Calcul du nombre de passe n :

On utilisons la méthode par LETOVSHENKO [31] :

L'élargissement est donné par la formule :

$$\Delta b = b - b_0 \quad (1)$$

L'écrasement donnés par la formule suivante :

$$\Delta h = h_0 - h \quad (2)$$

La section à chaud de la billette se calcule par la formule suivante :

$$S_{bc} = (1,013)^2 * a^2 - 4 * (R^2 - \frac{\pi R^2}{4}) \quad (3)$$

R : L'arrondi ; R =7mm

a : Section de la billette ; a =70mm

$$S_{bc} = (1,013)^2 * 70^2 - 4 * (7^2 - \frac{\pi 7^2}{4})$$

$$S_{bc} = 4793.74 mm^2$$

Le diamètre à chaud du rond finisseur se calcule comme suite :

$$dc = 1,013(d_f + \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}) \quad (4)$$

Δ_1 : tolérance positive ; $\Delta_1 = +0.25$

Δ_2 : tolérance négative ; $\Delta_2 = -0.25$

d_f : diametre a froid du rond final ; $d_f = 12mm$.

$$dc = 1,013(12 + \frac{0.25 - 0.25}{2})$$

$$dc = 12.156mm.$$

La section finale du rond est :

$$S_r = \frac{\pi d_c^2}{4} \quad (5)$$

$$S_r = \frac{\pi * 12.156^2}{4} = 116.05 mm^2$$

Coefficient d'allongement total :

$$\mu_T = \frac{S_{bc}}{S_r} \quad (6)$$

$$\mu_T = \frac{4793.74}{116.05} = 41.30$$

Le coefficient d'allongement moyen μ_m est calculé par la formule :

Chapitre IV: Optimisation du processus de fabrication du rond à béton a l'Usine

$$\mu_m = 1 + 0,089 \left(\frac{s_r}{Dm^2} \right)^{-0,191} \quad (7)$$

Dm :Diametre moyen des cylindres.

$$Dm = \frac{390+310+320+284+314}{5} = 323.6$$

$$\mu_m = 1 + 0,089 \left(\frac{116.05}{323.6^2} \right)^{-0,191} = 1.32$$

$$n = \frac{Ln u_T}{Ln u_m} = \frac{\ln(41.3)}{\ln(1.32)} = 13.4 \approx 13.$$

Tableau IV-1: Dimension de déformation

N de passe	h_0	h	Δh	b_0	b	Δb
1	70	65	5	70	100	30
2	65	26.7	38.3	100	108	8
3	26.7	55	28.3	108	55	53
4	55	23.8	31.2	55	61.58	6.53
5	23.8	38	14.2	61.58	38	23.8
6	38	20	18	38	45.3	7.3
7	20	27.2	7.2	45.3	27.2	18.1
8	27.2	14	13.2	27.2	36.5	9.3
9	14	21.4	7.4	36.5	21.4	15.1
10	21.4	23.3	1.9	21.4	10.6	10.8
11	23.3	11.6	11.7	10.6	12	1.4
12	11.6	8	3.6	12	17.5	5.5
13	8	11.6	3.6	17.5	12	5.5

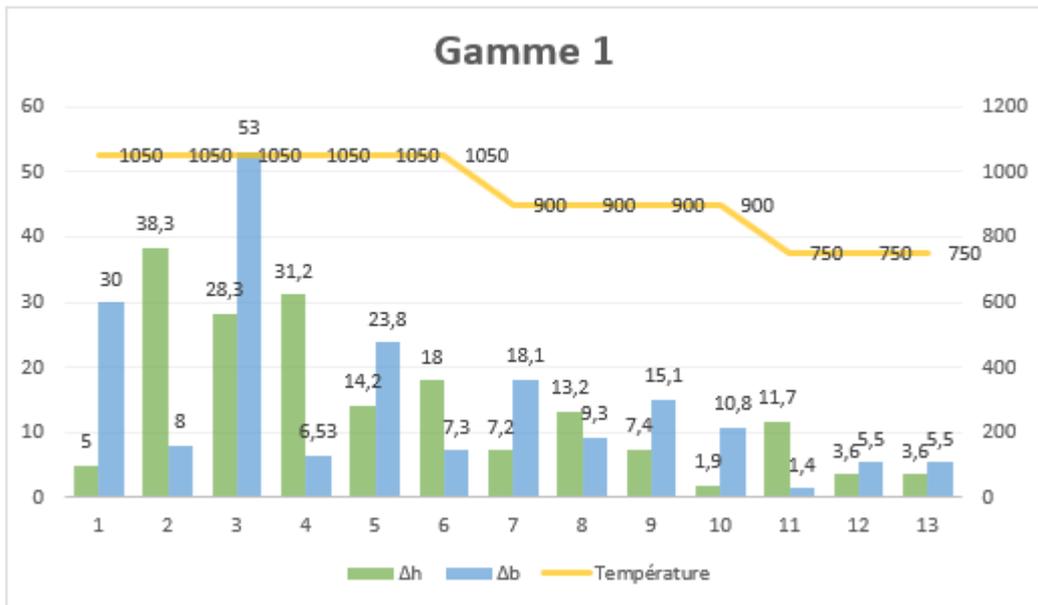


Figure IV-1:Influence de température au réduction et l'élargissement

La figure montre que la billette subit une grande déformation à la haute température.

IV.1.2 Calcul des vitesses de laminage

Vitesse de la dernière cage : cage N°13

$$V = \frac{\pi * Dt * N}{60} \tag{8}$$

$$V = \frac{\pi * 0.2742 * 1200}{60} = 17.22m/s$$

Dt =>diamètre de travail du cylindre.

$$Dt = D - 2h' + t$$

D : diamètre du cylindre ,mm

h' : profondeur de cannelure, mm

t :jeu entre cylindres ,mm

$$D=283mm, t=1.2, h'=(h-t)/2=(11.2-1.2)/2=3.2$$

$$Dt=283-2*5+1.2=274.2mm=0.2742m$$

- Calculer de la constant de laminage

$$K = \omega \times S \times D_t \tag{9}$$

Il se calcul par la formule suivante :

$$\omega_{13} = \frac{60 * V_{13}}{Dt_{13}}$$

Chapitre IV: Optimisation du processus de fabrication du rond à béton a l'Usine

$$V_{13}=17.22\text{m/s}$$

$$\omega_{13} = \frac{60 \cdot 17.22}{0.2742 \cdot \pi} = 1199.40 \text{tr/mn}$$

$$S_{13}=116.05\text{mm}$$

$$K=116.05 \cdot 1199.40 \cdot 274.2$$

$$K=3.81 \cdot 10^7$$

- Calcul de la vitesse dans la première cage

$$W_1 = \frac{K}{S^1 \cdot Dt_1} = \frac{3.71 \cdot 10^7}{6500 \cdot 369.8} = 15.47 \text{tr/mn}$$

La vitesse du lamine après la première cage est

$$v_1 = \frac{\pi \cdot Dt_1 \cdot w_1}{60} = \frac{\pi \cdot 0.3698 \cdot 15.47}{60} = 0.29 \text{m/s}$$

- Calcul de la vitesse dans la première cage

$$K = \omega_1 \times S_1 \times D_1$$

$$w^1 = \frac{K}{S^1 \cdot Dt_1}$$

$$Dt_1 = D_i - 2h' + t$$

$$Dt_1 = 390 - 2 \cdot 21.3 + 22.4$$

$$Dt = 369.8$$

$$S_1 = 6500 \text{mm}$$

$$w^1 = \frac{3.71 \cdot 10^7}{6500 \cdot 369.8}$$

$$W_1 = 15.47 \text{tr/mn}$$

La vitesse du lamine après la première cage est

$$v_1 = \frac{\pi \cdot Dt_1 \cdot w_1}{60} \quad Dt \text{ en m}$$

$$\frac{\pi \cdot 0.3698 \cdot 15.47}{60} = 0.29 \text{m/s}$$

Tableau IV-2: paramètres de calcul

N DE PASS	D(mm)	Dt(mm)	W(tr/min)	V(m/s)	S(mm ²)
1	390	369.8	15.67	0.29	6500
2	390	377.4	34.09	0.67	2883.6
3	390	349	70.28	1.28	1512.5
4	320	308.2	123.20	1.98	977.06
5	380	355	144.74	2.69	722
6	310	300	200.32	3.14	617.33
7	320	306	327.75	5.25	369.92
8	310	304	358.24	5.7	340.66
9	320	302.6	535.43	8.48	228.98
10	320	315.2	771.11	12.7	152.64
11	283	273.8	1196.41	17.17	116.05
12	314	310	1119.75	20.81	93.33
13	283	273.8	1196.41	17.17	116.05

IV.1.3 Calcule des puissances de laminage :

Le calcule des puissances de laminage reposé sur

- **L'effort d'écrasement résultant de la pression.**

Notation :

Δh : Réduction moyenne, mm

F : Section déplacée, mm²

R : Résistance la déformation, Kg/mm²

L : Largeur moyenne de la barre

Pe : Puissance nécessaire pour réaliser l'écrasement

V : Vitesse des cylindres m/s

T : Température de laminage.

Chapitre IV: Optimisation du processus de fabrication du rond à béton a l'Usine

La puissance nécessaire est donnée par la formule suivante :

$$P_e = F * R * V \quad (10)$$

La résistance à la compression R qui correspond à l'effort nécessaire pour créer une déformation permanente du métal est indiquée dans le tableau ci-dessous pour différentes températures :

Tableau IV-3

Tente de l'acier	Température(C)	R (Kg/mm²)
Rouge sombre	750	12.5
Rouge claire	800	11
Orange sombre	850	10
Orange claire	900	9
Jaune sombre	950	8
Jaune pale	1000	7
Jaune	1050	6
Jaune claire	1100	5
blanc	1150	4

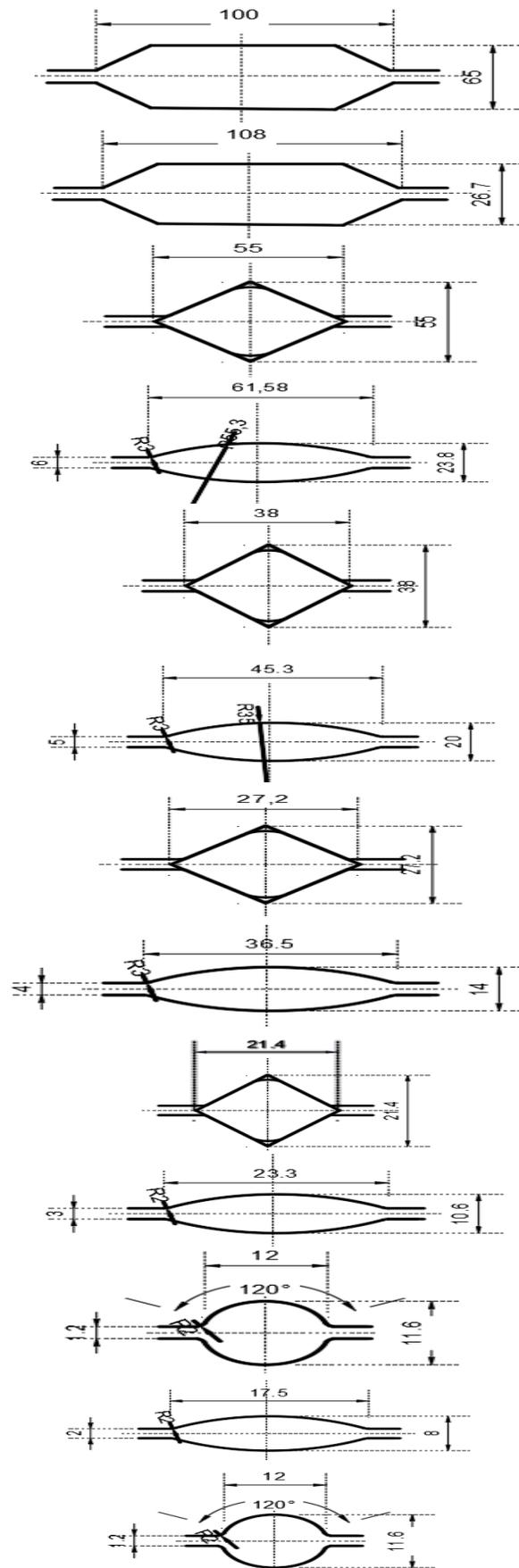


Figure IV-2: Schéma des cannelures-gamme 1-

Tableau IV- 4: résultat de puissance

N° de pass	F (mm ²)	T (C °)	R (Kg/mm)	Pe (kw)
1	350	1050	6	5.97
2	3830	1050	6	151.09
3	3056.4	1050	6	230.34
4	1716	1050	6	200.05
5	812.8	1000	7	150.20
6	684	900	9	189.69
7	317.1	900	9	147.03
8	272	900	9	176.70
9	270.1	900	9	202.29
10	231.12	900	9	259.23
11	124.02	750	12.5	261.2
12	79.2	750	12.5	202.17
13	63	750	12.5	136.78

- Calcul de la puissance de la 1ère cage :

Cannelure rectangulaire :

Cannelure rectangulaire :

$$F=350\text{mm}^2$$

$$W=15.67 \text{ tr/mn}$$

$$V=0.29\text{m/s}$$

$$T=1050 \Rightarrow R=6 \text{ kg/mm}^2$$

$$Pe = 350 \cdot 6 \cdot 0.29 = 609 \text{kgm/s}$$

$$Pe = 609 \cdot (0.736/75) = 5.97 \text{kw}$$

- Calcul de la puissance dans la 3eme cage :

Cannelure carrée:

$$F=3056.4\text{mm}^2$$

$$W=70.28\text{tr/mn}$$

$$V=1.28\text{m/s}$$

$$Pe= 3056.4*6*1.28*(0.736/75)$$

$$Pe=230.34\text{kw}$$

- Calcul de la puissance pour la cage n 04 :

Cannelure ovale:

$$F =1716\text{mm}$$

$$V =1.98$$

$$R =6$$

$$Pe=1716*6*1.98*(0.736/75)$$

$$Pe=200.05\text{kw}$$

- Calcul de la puissance pour la cage N°11 :

Cannelure ronde :

$$F =124.02 \text{ mm}^2$$

$$T=750 \Rightarrow R=12.5$$

$$V=17.17\text{m/s}$$

$$Pe =F*V*R= 124.02*12.5*17.17*(0.736/75)$$

$$Pe=261.20\text{kw}$$

Tableau IV-5

N° de pass	Pe (kw)	Puissance maximales des moteur (KW)	Taux utilisée (%)
1	5.97	300	1.98
2	151.09	300	50.36
3	230.34	300	76.78
4	200.05	300	66.68
5	150.20	300	50
6	189.69	300	63.23
7	147.03	300	48.34
8	176.70	300	58.9
9	202.29	300	67.43
10	259.23	420	61.72
11	261.2	300	87.06
12	202.17	300	67.39
13	136.78	300	45.59

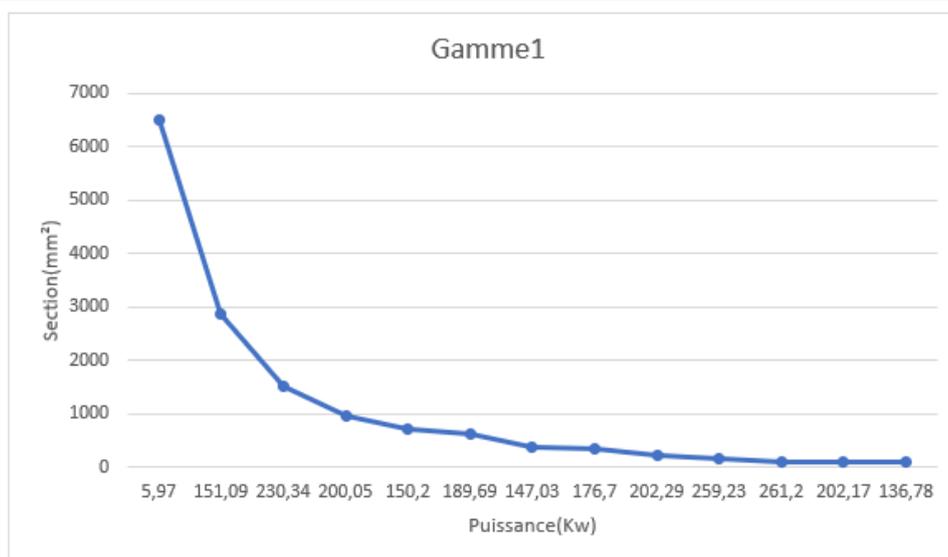


Figure IV-3: Diminution de la section de différentes puissances

La figure montre la relation entre la puissance consommée par un laminoir à chaud et la surface de la billette laminée.

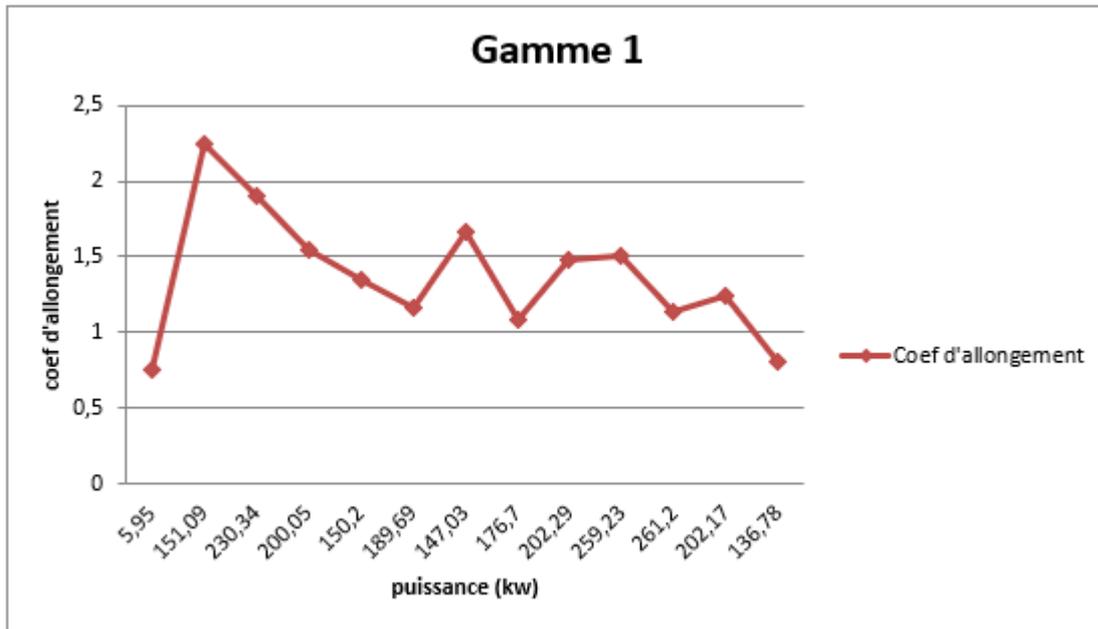


Figure IV-4 : Coefficient d'allongement en fonction la puissance consommé

Tableau IV-6

Type du cannelure	Nombre de passe	surface (mm ²)	Coefficient d'allongement	Longueur(m)	Puissance(Kw)
billettes	0	4900		2	
Rectangulaires	1	6500	0,75	1,5	5,97
Rectangulaires	2	2883.6	2,25	3,375	151,09
Carré	3	1512.5	1,9	6,41	230,34
Ovale	4	977.06	1,54	9,87	200,05
Carré	5	722	1,35	13,33	150,20
Ovale	6	617.33	1,16	15,46	189,69
Carré	7	369.92	1,66	25,67	147,03
Ovale	8	340.66	1,08	27,72	176,70
Carré	9	228.98	1,48	41,03	202,29
Ovale	10	152.64	1,5	61,45	259,23
Rond	11	116.05	1,13	69,55	261,2
Ovale	12	93.33	1,24	86,24	202,17
rond	13	116.05	0,8	68,99	136,78

IV.2 Optimisation de la chaîne de laminage :

En comparant les puissances obtenues P_e à la puissance maximale des moteurs, on déduit que le taux d'utilisation des puissances des moteurs est faible. Tableau IV-5

Pour élever ce taux d'utilisation, on doit augmenter les efforts de laminage et cela en augmentant les taux de réduction. L'augmentation des taux de réduction aboutira à la diminution du nombre de passes donc du nombre de cages.

L'étude qui suit est faite sur l'obtention du rond de diamètre 12mm en utilisant 11 passes de gamme par LETOVSHENKO [28].

IV.2.1 Calcul des paramètres de cannelures pour 11 passes :

- Section de la billette :

$$S_{bc} = 4793.74 \text{ mm}^2$$

Section finale du rond :

$$S_r = 116.05 \text{ Mm}^2$$

Nombre de passe fixé : $n=11$

Coefficient d'allongement total :

$$\mu_T = \frac{S_{bc}}{S_r} = \frac{4793.74}{116.05}$$

$$\mu_T = 41.30$$

Tableau IV-7: Dimension de déformation

N de passe	h_0	h	Δh	b_0	b	Δb
1	70	42.6	27.4	70	100	30
2	42.6	35	7.6	100	108	8
3	35	55	20	108	55	53
4	55	15	40	55	48	7
5	15	27.6	12.6	48	27.6	20.4
6	27.6	10	17.6	27.6	30.4	2.8
7	10	22.2	12.2	30.4	23	7.4
8	22.2	12	10.2	23	25	2
9	12	11.6	0.6	25	12	13
10	11.6	5	6.6	12	19.3	7.3
11	5	11.6	6.6	19.3	12	7.3

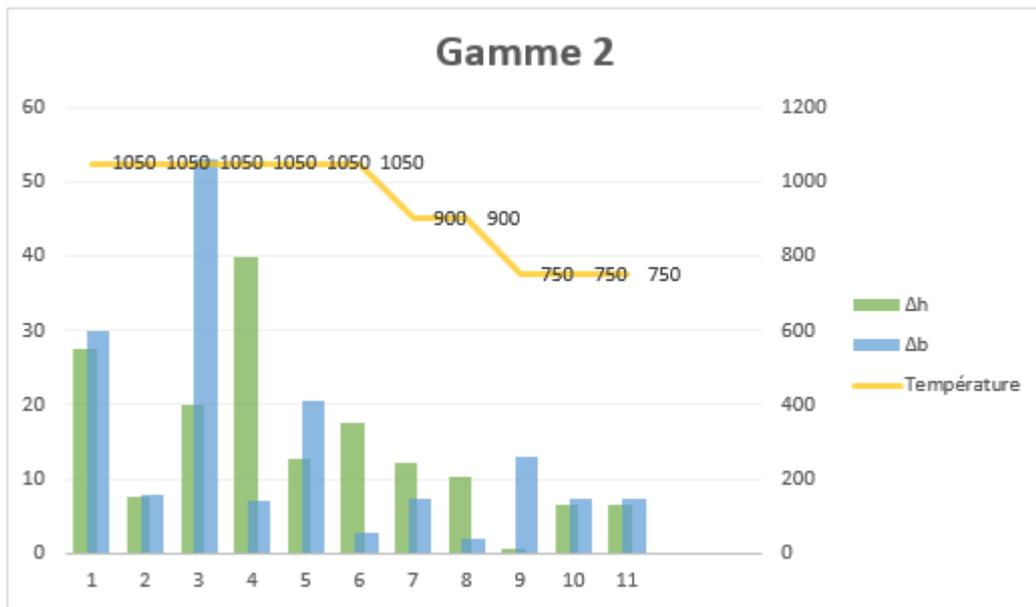


Figure IV-5 : Influence de température au réduction et l'élargissement

La figure montre que la billette subit une grande déformation à la haute température

Chapitre IV: Optimisation du processus de fabrication du rond à béton a l'Usine

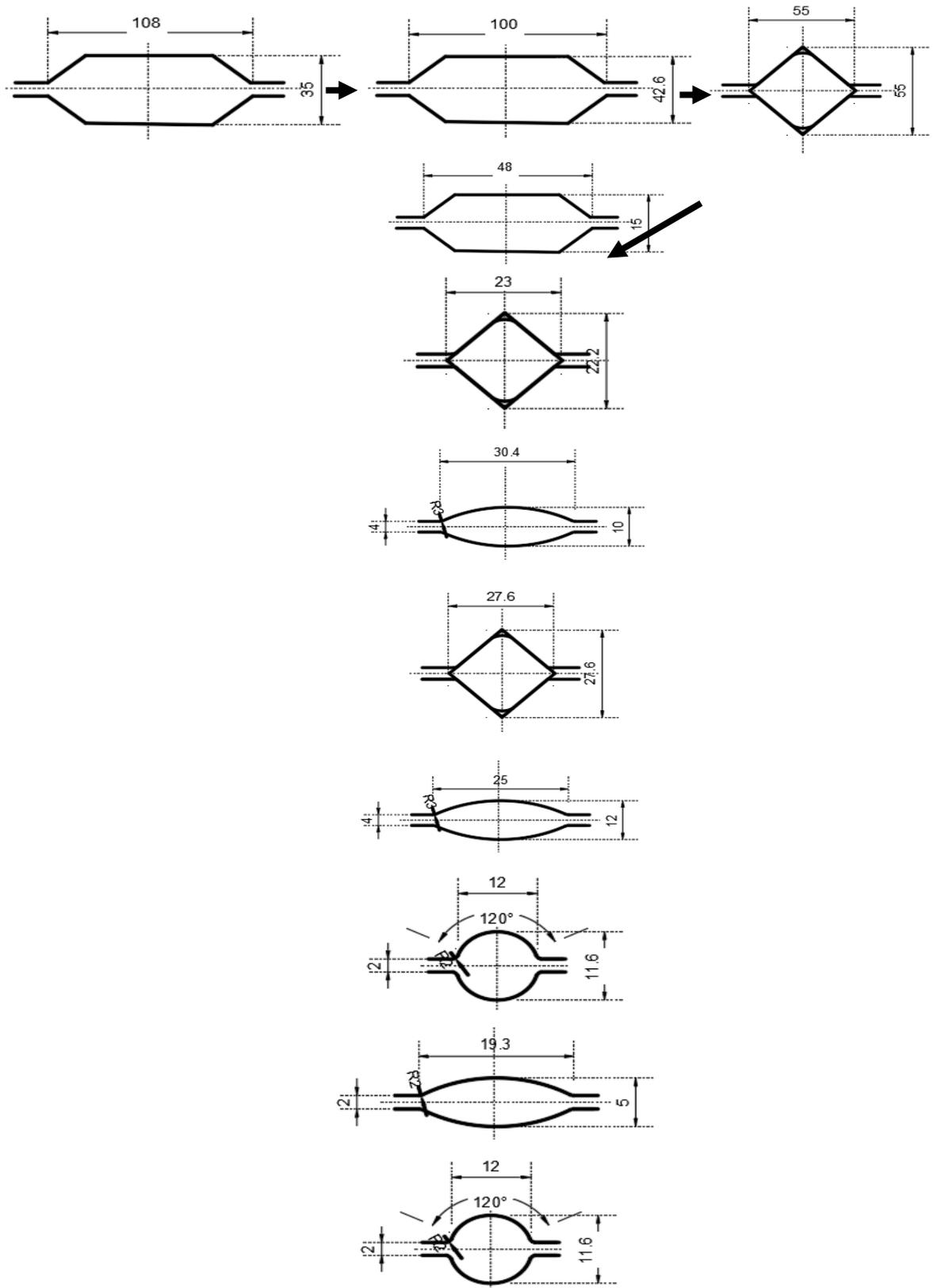


Figure IV-6 : Schéma des cannelures d'optimisation- gamme 2-

IV.2.2 Calcule Des Puissance de Laminage :

- **Vitesse de la dernière cage N11 cannelure rond**

$$V = \frac{\pi * Dt * N}{60} = \frac{\pi * 0.2742 * 1200}{60} = 17.05m/s$$

- **Calculer de la constant de laminage**

$$K = \omega_1 \times S_1 \times Dt_1 = \omega_2 \times S_2 \times Dt_2 = \dots = \omega_{11} \times S_{11} \times Dt_{11}$$

$$\omega_{11} = \frac{60 * V_{11}}{Dt_{11}} = \frac{60 * 17.05}{0.2742 * \pi} = 1188.06 \text{tr/mn}$$

$$K = 116.05 \times 1199.40 \times 274.2 = 3.81 \times 10^7$$

- **Calcul de la vitesse dans la première cage :**

$$W_1 = \frac{K}{S^1 * Dt_1} = \frac{3.81 * 10^7}{3780 * 347.4} = 29.01 \text{tr/min}$$

La vitesse du lamine après la première cage est

$$V_1 = \frac{\pi * Dt_1 * w_1}{60} = \frac{\pi * 0.347 * 29.01}{60} = 0.52m/s$$

Tableau IV-8: paramètres de calcul

N DE PASS	D (mm)	Dt (mm)	W (tr/mn)	V (m/s)	S (mm ²)
1	390	347.4	25.44	0.46	4260
2	380	345	28.86	0.52	3780
3	310	255	97.48	1.3	1512.5
4	310	295	177.02	2.72	720
5	320	292.4	338.38	5.18	264,5
6	310	300	620.46	9.74	202,66
7	320	297.8	477.34	7.44	380,88
8	320	308	610	9.84	200
9	283	271.8	1187.66	16	116.05
10	314	309	900.68	14.56	64.33
11	283	271.8	1188.06	17	116.05

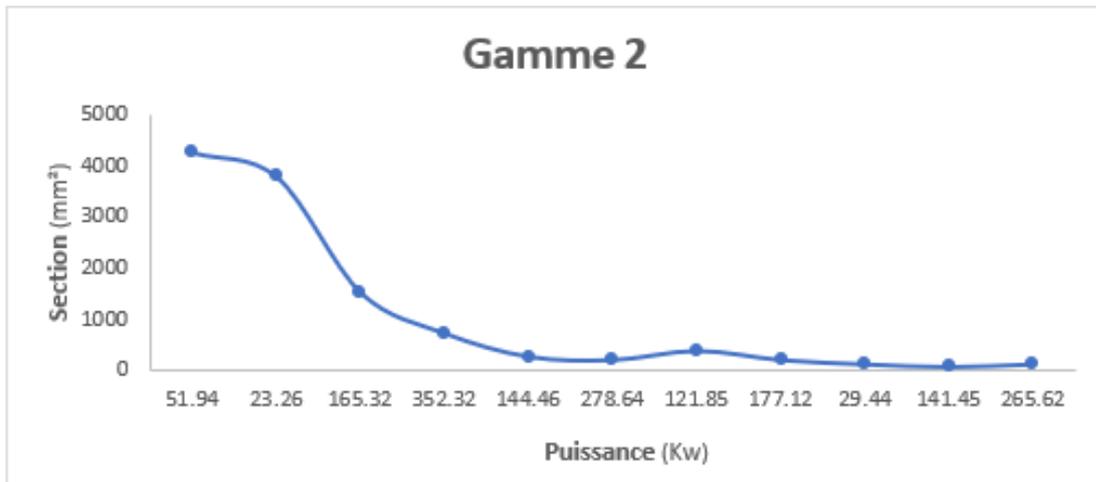


Figure IV-7: Diminution de la section de différentes puissances

La figure montre la relation entre la puissance consommée par un laminoir à chaud et la surface de la billette laminée.

IV.2.3 Calcul de la puissance de laminage- gamme 2- :

- Calcul de la puissance dans la 1ère cage : cannelure rectangulaire

$$F_1 = 1918 \text{ mm}^2$$

$$W_1 = 25.44 \text{ tr/min}$$

$$V_1 = 0.46 \text{ m/s}$$

$$T = 1050 \Rightarrow R = 6 \text{ kg/mm}^2$$

$$P_e = 1918 \times 6 \times 0.46 = 5293.68 \times (0.736/75) = 51.94 \text{ kw.}$$

- Calcul de la puissance dans la 3ème cage : Cannelure carrée:

$$F_3 = 2160 \text{ mm}^2$$

$$W_3 = 97.48 \text{ tr/min}$$

$$V_3 = 1.3 \text{ m/s}$$

$$T = 1050 \text{ C} \Rightarrow R = 6$$

$$P_e = 2160 \times 6 \times 1.3 \times (0.736/75) = 165.32 \text{ kw}$$

- Calcul de la puissance pour la cage N°04 : Cannelure ovale:

Chapitre IV: Optimisation du processus de fabrication du rond à béton a l'Usine

$$F_4=2200\text{mm}^2$$

$$V_4=1.36\text{m/s}$$

$$W_4=177.02\text{tr/min}$$

$$Pe=2200 \times 6 \times 1.36 \times (0.736/75) = 176.16\text{kw}$$

- Calcul de la puissance pour la cage N°09 : Cannelure ronde :

$$F_9=15\text{mm}^2$$

$$T=750 \Rightarrow R=12.5$$

$$W_9=1187.66\text{tr/min}$$

$$V_9=16\text{m/s}$$

$$Pe = F \times V \times R = 15 \times 12.5 \times 16 \times (0.736/75) = 29.44\text{kw}$$

Tableau IV-9: résultat de puissance – gamme2-

N° de pass	F (mm²)	T (C °)	R (Kg/mm)	Pe (kw)
1	1918	1050	6	51.94
2	760	1050	6	23.26
3	2160	1050	6	165.32
4	2200	1050	6	352.32
5	604.8	1050	6	144.46
6	485	1050	6	278.64
7	370.88	900	9	121.85
8	203.88	900	9	177.12
9	15	900	12.5	29.44
10	79	900	12.5	141.45
11	127.38	750	12.5	265.62

Tableau IV-10

N° de pass	Pe (kw)	Puissance maximales des moteur (KW)	Taux utilisée (%)
1	51.94	300	17.31
2	23.26	300	7.75
3	165.32	300	55.10
4	352.32	420	83.88
5	144.46	300	48.15
6	278.64	420	66.34
7	121.85	300	40.61
8	177.12	300	59.04
9	29.44	300	9.81
10	141.45	300	47.15
11	265.62	420	63.24

Tableau IV-11

Type de la cannelure	N de passe	Surface	coefficient d'allongement	longueur	Puissance
	0	4900		2	
Rectangulaires	1	4260	1,15	2.3	51.94
Rectangulaires	2	3780	1,12	2.57	23.26
Carré	3	1512.5	2,4	6,18	165.32
Ovale	4	720	2,1	12,98	352.32
Carré	5	264,5	2,72	35,30	144.46
Ovale	6	202,66	1,3	45.89	278.64
Carré	7	380,88	0,53	24,32	121.85
Ovale	8	200	1,9	46,21	177.12
rond	9	116.04	1.72	79,49	29.44
Ovale	10	64.33	1.80	143.09	141.45
Rond	11	116.05	0.55	78,70	265.62

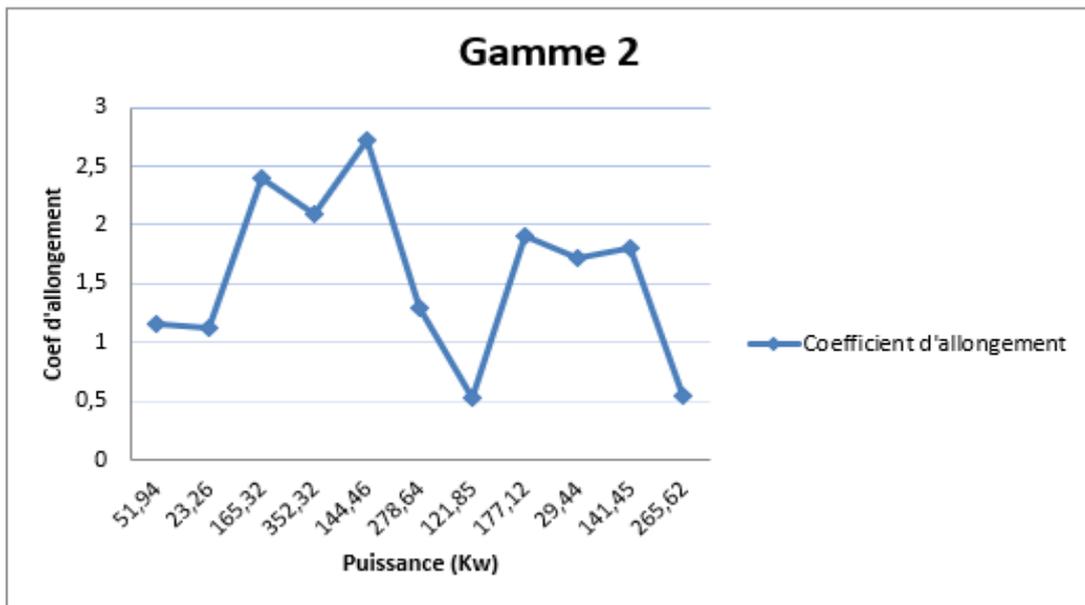


Figure IV-8: Coefficient d'allongement en fonction la puissance consommé

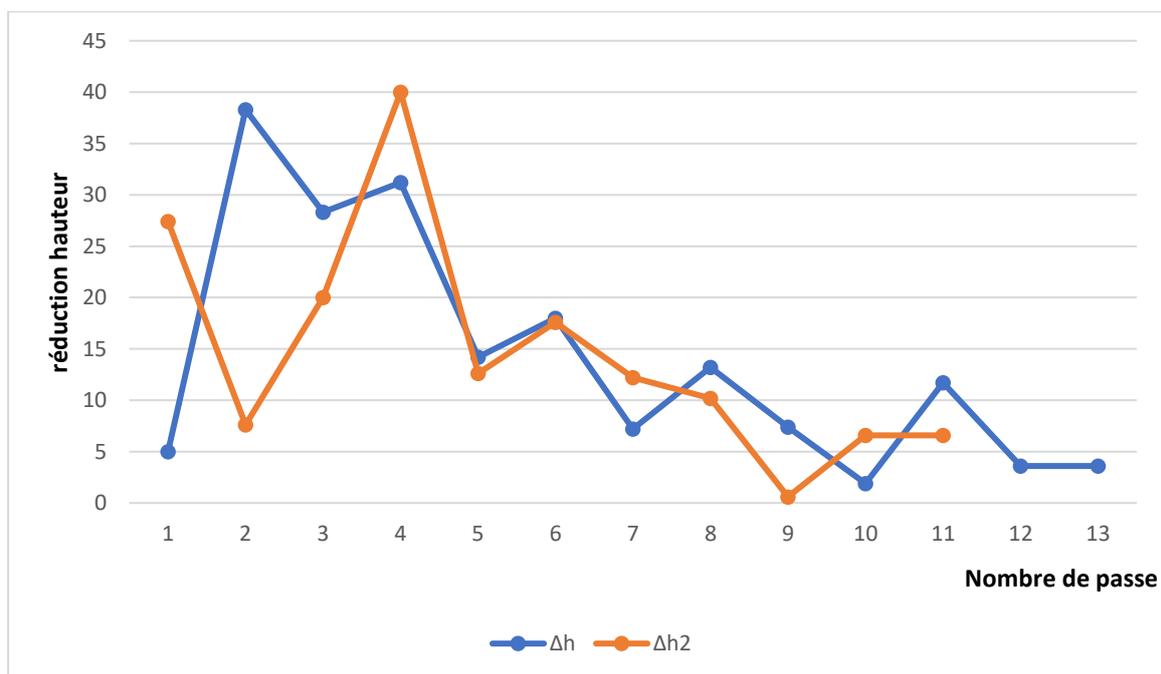


Figure IV-9: Comparaison des courbes de réduction pour les deux gammes.

Chapitre IV: Optimisation du processus de fabrication du rond à béton a l'Usine

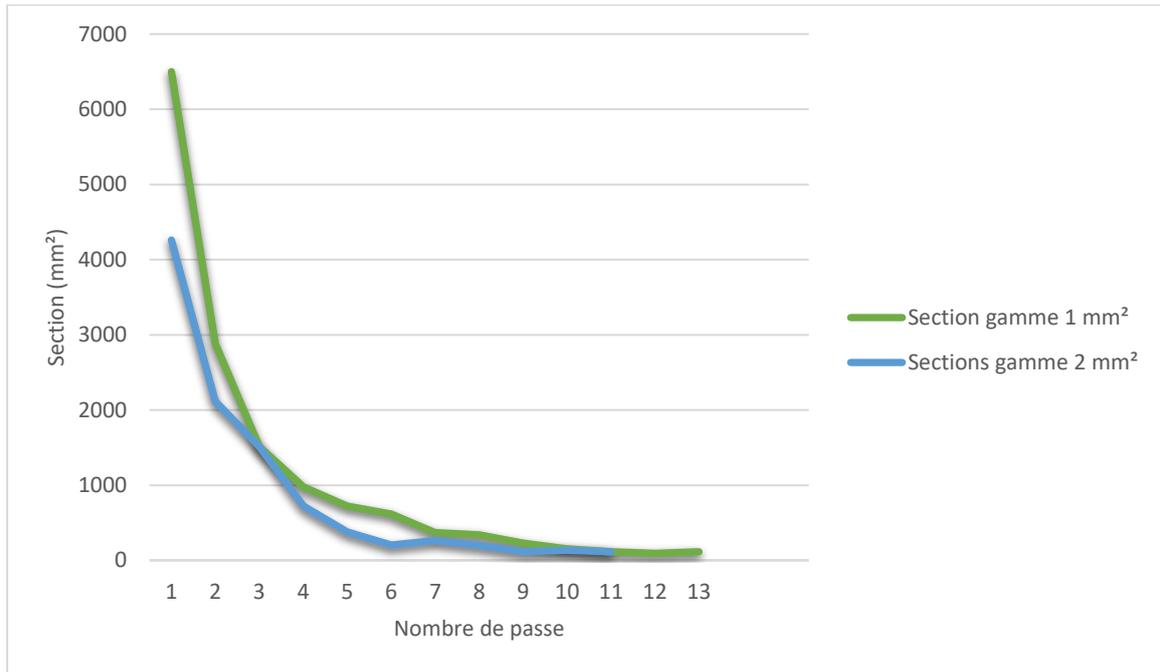


Figure IV-10: sections des deux gammes

Ce graphique semble comparer les deux gammes de sections en fonction des passes

N.B: on remarque que les deux gammes ont des performances très similaires en termes de section nécessaire pour différents passes. Les courbes peuvent indiquer des optimisations possibles entre les deux gammes pour certaines valeurs de l'indice.

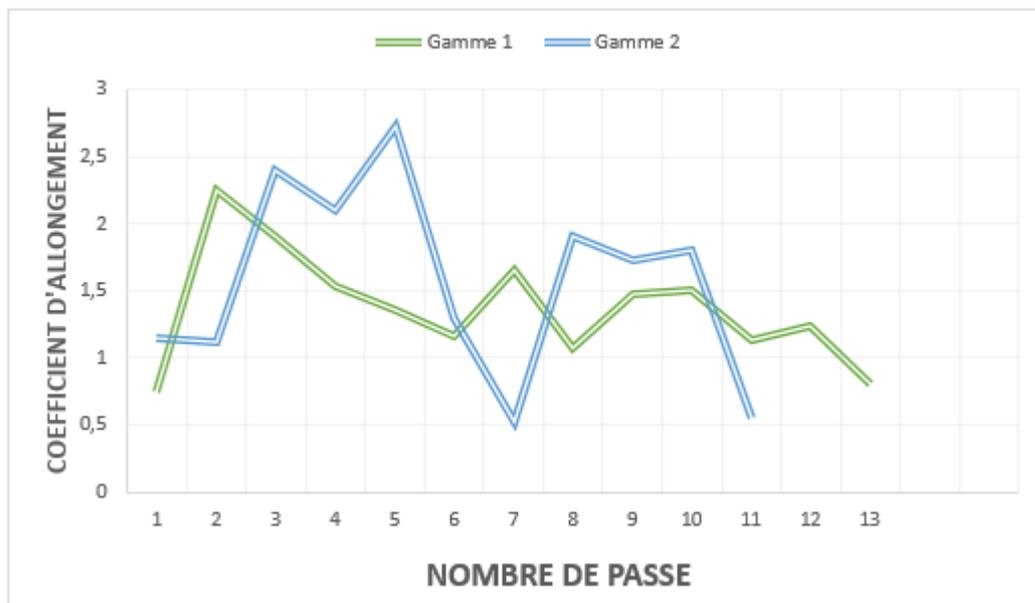


Figure IV-11 : Comparaison des courbes de coefficient pour deux gammes.

CONCLUSION :

L'objectif principal de l'optimisation de nombre de passes est d'assurer la production d'un produit de profil correct dans les limites de tolérance, exemptes de défauts, avec une bonne qualité de surface et les propriétés mécaniques requises. Dans de plus, la condition économique doit être atteinte pendant le laminage du produit, par exemple, productivité au moindre coût, utilisation optimale de l'énergie, conditions de travail faciles pour l'équipe .

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a pour objectif la description du procédé de préparation et de production de l'acier pour béton armé et cela à travers l'étude du processus de production de ronds à béton chez DONG NAN MATERIAUX et de décrire les différentes caractérisations chimiques, physiques afin de produire un acier possédant les propriétés demandées par le marché national. Pour obtenir le produit final, les billettes sont soumises au procédé de laminage sous chauffage dans les fours de l'unité de laminage.

Le but du projet était l'étude et l'amélioration de la technologie du Laminage des profils ronds en acier.

Notre période de stage au sein du société DONG NAN MATERIAUX, nous a été très bénéfique au point de vue de notre métier d'ingénieur. Nous avons suivi la fabrication depuis la matière première (les ferrailles) ensuite en billette, coulée en continu jusqu'au rond à béton. Cette période ne nous a pas permis de recueillir le maximum d'information du personnel du site mais nous avons recueilli le nécessaire qui nous a permis de calculer certains paramètres comme :

- Les différents étapes de production d'acier.
- Les problèmes et les pannes rencontrés par l'ingénieur.
- Etude des aspects métallurgiques du laminage à chaud pour améliorer les caractéristiques mécaniques du produit final qui peut être utilisé à l'état brut de laminage ou subir d'autres opérations ultérieures.
- Le calcul pratique des paramètres dimensionnels, pour la gamme de cannelures de dégrossissage rectangulaire et de finissage ovale-ronde.
- Diminuer, à la base de ces calculs, le nombre de passes de 2.

nous avons également exploré des solutions d'optimisation visant à améliorer l'efficacité du processus de laminage. L'une des améliorations majeures introduites consiste en la réduction du nombre de cages de laminage, passant de 11 à 9 cages. Cette modification a permis de diminuer significativement les coûts de production et d'améliorer la productivité sans compromettre la qualité des ronds à béton produits. En rationalisant cette étape du processus de fabrication, nous avons non seulement réduit les besoins en main-d'œuvre et en maintenance, mais également optimisé la consommation énergétique globale. Ces améliorations offrent des avantages économiques substantiels et s'inscrivent dans une démarche de développement durable, en réduisant l'empreinte environnementale de l'industrie de la construction.

REFERENCES

- [1] J. PHILIBERT, A. VIGNES, Y. BRECHET et P. COMBRADE, Métallurgie, du minerai au matériau, Paris: Dunod, 1998.
- [2] -. J.FAUCHART, INITIATION AU CALCUL DES STRUCTURES-BETON ET ACIER-4, Paris: COURS DE L'ENPC, 1983.
- [3] - I.LAKHTINE, Métallographie et traitements thermiques des métaux, troisième édition, Moscou, 1986.
- [4] -S.BENSAADA, science des matériaux, caractéristiques et structures des métaux et alliages,, deuxième édition, office des publication universitaire.
- [5] -. D.MICHEL, Aide mémoire de science des matériaux, Dunod, 2005.
- [6] -. A.QUERUEL, Aide-mémoire Traitement de surface des aciers., . French: Dunod, 2007.
- [7] T. B. S. Ikhlef, Effet des traitements thermiques sur le comportement à la corrosion du rond à béton produit au niveau du complexe sidérurgique Algerian Qatari Steel (AQS) d'El Milia, d'El Milia,: Mémoire de master, Université de Jijel, , 2018..
- [8]]. <http://www.crsi.org/index.cfm/basics/rebar-properties>.
- [9] [En ligne]. Available: <https://www.ingenieurs.com>.
- [10] T. K., Étude de la structure et des propriétés de l'acier à béton après déformation à froid., Lyon: Thèse de doctorat, Matériaux de Lyon, 2010.
- [11] Д. Е. 10080:, Сталь для армування бетону. Зварювана рифлена арматурна сталь В500. Технічні умови на постачання прутків, мотків і зварної сітки », К.: Держспоживстандарт України, 2005.
- [12] N. A35-016, Aciers pour béton armé. Aciers soudables à verrous ». - Partie 1 : «Barres et couronnes ». - Partie 2 : « Treillis soudés », . AFNOR, 2007.
- [13] N. A35-019:, « Aciers pour béton armé. Aciers soudables à empreintes ». - Partie 1 : « Barres et couronnes ». - Partie 2 : « Treillis soudés »,., AFNOR, 2007.
- [14] I. 6935-2, « Steel for the Reinforcement of Concrete ». - Part 2: « Ribbed Bars ». ISS, 2007..
- [15] D. 488-1:, Betonstahl » - Teil 1: « Sorten, Eigenschaften, Kennzeichen », DIN,, 1984.
- [16] T. K., Étude de la structure et des propriétés de l'acier à béton après déformation à froid., Lyon:

Thèse de doctorat, Matériaux de Lyon,, 2010.

- [17] <http://www.crsi.org>. [En ligne]. Available: <http://www.crsi.org>.
- [18] A. G. N. Boubaa, Etude de la corrosion des aciers d'armatures,, Université de Jijel,: Mémoire d'ingénieur d'état,, 2007..
- [19] M.COLOMBIÉ, Matériaux métalliques-2ème édition, Hachette, 2008.
- [20] R. Crauranu, Fours pits.Rechauffage des demi-produits., 2010.
- [21] M. Bonaux, Laminoir a chaud, Technique de l'ingénieur, 1990.
- [22] M. Bonaux, Laminaires a chaud, Technique de l'ingenieur, 1990.
- [23] J. L. C. J. Saleil, La propreté inclusionnaire des acier (partie I),, Matériaux & Techniques 103, 506, 2015.
- [24] M. L. J.P. Birat, La coulée et la solidification ; Le livre La coulée et la solidification le livre de l'acier, Tec & Doc Lavoisier, 1994.
- [25] Mourad JERBI, Procédés de mise en forme,, ISET de Nabeul, Nabeul.
- [26] G.Sainfort, Comportement a chaud des métaux et alliage., Mise en forme des métaux, 1975.
- [27] A. bon, Aspects métallurgiques du laminage a chaud, 1975.
- [28] M. Bonaux, Laminaires a chaud, Technique de l'ingenieur, 1990.
- [29] C. BOUCHELIER, Le Formage des Tôles Fortes., Centre Technique des Industries Mécaniques CETIM, 1981.
- [30] R. L. R. René CAZAUD, Métallurgie Mise en Forme et Traitements, DUNOD, 1974.

- [31] L. Métallurgique, KALIBROVKA PARAKATNI VALKOV, B.B DIMIDOV;N.V, 1976.